

**Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Civil**

Arthur Reichert Damian Preve

**Estudo de implantação de uma ferrovia em Santa Catarina com base em
modelagem macroscópica**

01 de julho de 2016

Arthur Reichert Damian Preve

**Estudo de implantação de uma ferrovia em Santa Catarina com base em
modelagem macroscópica**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo acadêmico Arthur Reichert Damian Preve à banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Professor orientador: Alexandre Hering Coelho,
Dr.

01 de julho de 2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Preve, Arthur Reichert Damian

Estudo de implantação de uma ferrovia em Santa Catarina
com base em modelagem macroscópica / Arthur Reichert Damian

Preve ; orientador, Alexandre Hering Coelho -
Florianópolis, SC, 2016.

63 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Estudo de características dos
sistemas rodoviário e ferroviário. 3. Estudo do modelo
quatro etapas de transporte. 4. Procedimento em programas
SIG. 5. Procedimento TransCAD. I. Coelho, Alexandre
Hering. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Arthur Reichert Damian Preve

ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE UMA FERROVIA EM SANTA CATARINA COM BASE EM MODELAGEM MACROSCÓPICA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado, adequado para obtenção do grau de Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 01 de julho de 2016.

Prof. Luis Alberto Gómez, Dr.
Coordenador do curso

Banca Examinadora:



Prof. Alexandre Hering Coelho, Dr.
Orientador

Prof. Liseane Padilha Thives, Dr.
Membro

Jorge Destri, Dr.
Membro

Agradecimentos

A Deus por sempre me guiar na aventura da vida.

A todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

À minha família, pelo apoio e amor incondicional.

Aos meus amigos pela lealdade e por tantos momentos inesquecíveis na universidade.

Ao professor e orientador Alexandre, por sempre se mostrar dedicado, profissional e amigo.

À minha avó e outros amigos que me ajudaram a ser quem sou hoje, e que serão imortais no meu coração.

RESUMO

O trabalho simula o comportamento do tráfego no estado de Santa Catarina após implantação de duas alternativas ferroviárias, objetivando transportar carne de aves e suínos produzidas na região oeste. As informações obtidas no banco de dados do Plano Nacional de Logística e Transporte (PNLT) são utilizadas para representar a malha rodoviária. Os dados para a modelagem de demanda são obtidos do Departamento de Infraestrutura de Santa Catarina. Após tratamento utilizando programas com Sistema de Informações Geográficas (SIG), os dados são analisados no *software* de modelagem de tráfego TransCAD. O método utilizado é fundamentado no modelo macroscópico de quatro etapas de tráfego. As etapas a serem analisadas são a escolha dos sistemas de transporte e alocação. O método de alocação "tudo ou nada" é aplicado considerando, como impedância, os custos referentes ao consumo de combustível de cada sistema e preços para manuseio da carga no ponto de transbordo.

Palavras-chave: ferrovia, simulação, carne, modelo quatro etapas de transporte, alocação, impedâncias.

ABSTRACT

The research simulates traffic behavior in the state of Santa Catarina after implementation of two rail alternatives, aiming to transport poultry and pork produced in the western region. The information obtained from the Plano Nacional de Logística e Transporte (PNLT) are used to represent the road network. The data for the demand modeling are obtained from the Departamento de Infraestrutura de Santa Catarina (DEINFRA/SC). After treatment using programs Geographical Information Systems (GIS), the data are analyzed in TransCAD traffic modeling software. The method used is based on the macroscopic model four-step traffic. The steps to be analyzed are the choice of transport and allocation systems. The traffic assignment method "all or nothing" is applied considering as impedance, the costs for the fuel consumption of each transport system and prices for cargo handling in transshipment point.

Keywords: railroad, simulation, meat, four step modelling, traffic assignment, impedances.

Lista de Figuras

1	Comparação do preço do frete e custo médio do serviço. Fonte: Adaptado de (ANTF, 2011).	6
2	Pólos Econômicos de Santa Catarina. Fonte: (FIESC, 2014).	21
3	Total de abates de frango em 2014/2015. Fonte: (CEPA, 2015).	22
4	Total de suínos abatidos por município, 2014/2015. Fonte: (CEPA, 2015).	24
5	Resumo das características avaliadas de Santa Catarina. Fonte: Adaptado de (CNT, 2015).	26
6	Área de estudo delimitada, as zonas de tráfego e seus respectivos centroides. Fonte: Autoria própria.	30
7	Consumo específico por modal, 2011 e 2031. Fonte: MESSER (2015).	31
8	Comparação das malhas DEINFRA, DNIT, PNLT e comparação do detalhamento PNLT e DEINFRA. Fonte: Autoria própria.	35
9	Malha do PNLT projetada sobre a imagem do Google Earth. Fonte: Adaptado do Google Earth.	36
10	Adição e remoção de vetores conforme imagens do Google Earth. Fonte: Autoria própria.	37
11	Ferrovias-SC (sem a FTC). Fonte: Autoria própria.	37
12	Erros topográficos analisados. Fonte: Autoria própria.	38
13	Resultado de diferentes raios de atração. Fonte: Autoria própria.	39
14	Tabela de atributos das malhas viárias conjuntas. Fonte: Adaptado do Quantum GIS.	41
15	Linhas de desejo para matriz O/D-carne. Fonte: DEINFRA (2008a).	43
16	Área de estudo final com zonas de tráfego. Fonte: Autoria própria.	44
17	Fluxo de cargas do cenário 1. Fonte: Autoria própria.	50
18	Fluxo de cargas do cenário 2. Fonte: Autoria própria.	51

19	Fluxo de cargas do cenário 3. Fonte: Autoria própria.	52
20	Momento de transporte de cargas para todas as vias e pares O/D. Fonte: Autoria própria.	53
21	Momento de transporte de cargas para as vias de Santa Catarina e todos os pares O/D. Fonte: Autoria própria.	54
22	Análise dos cenários com viagens dentro de Santa Catarina. Fonte: Autoria própria.	56
23	Momento de transporte de cargas para as vias e os pares O/D dentro de Santa Catarina. Fonte: Autoria própria.	57

Lista de Tabelas

1	Tabela comparativa de consumo de combustível por distância. Fonte: NETO (2012).	7
2	Rebanho de aves por mesorregião. Fonte: (CEPA, 2015).	22
3	Rebanho de aves por mesorregião. Fonte:(CEPA, 2015).	23
4	Classificação das características avaliadas de Santa Catarina(em km). Fonte: Adaptado de (CNT, 2015).	25
5	Estrutura de custos logísticos. Fonte: (BRASIL, 2012)	28
6	Participação dos itens nos custo variáveis e fixos. Fonte: BRASIL (2012). . . .	29
7	Custo no transporte de frangos Frigorífico-Porto. Fonte: Adaptado de (TALA-MINI; MARTINS; OLIVEIRA, 2007).	32

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Justificativa	2
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo geral	2
1.2.2	Objetivos específicos	3
2	Revisão bibliográfica	4
2.1	Sistemas de transporte	4
2.1.1	Sistema rodoviário	5
2.1.2	Sistema ferroviário	6
2.1.3	Multimodalidade e uso de contêineres	7
2.2	Modelos de tráfego e modelo quatro etapas	8
2.2.1	Geração de viagens	9
2.2.2	Distribuição de viagens	10
2.2.3	Escolha do modo de transporte	11
2.2.4	Alocação de viagens	13
2.3	Pesquisas de tráfego	14
2.3.1	Contagens volumétricas	14
2.3.2	Pesquisa de origem e destino	15
2.4	Uso de SIG em estudos de transportes	16
2.5	TransCAD	17
3	Descrição da área de estudo	19
3.1	Economia e seus polos	19

3.2	Expressividade no comércio exterior	20
3.2.1	Produção de carne	21
3.3	Sistemas de transporte em Santa Catarina	24
3.3.1	Transporte rodoviário	25
3.3.2	Transporte ferroviário	26
3.4	Custos logísticos	28
4	Método	29
4.1	Dados de comparação entre os sistemas de transporte rodoviário e ferroviário . .	30
4.1.1	Comparação de consumo de combustível	31
4.1.2	Custo de transbordo	32
4.2	Processamento de dados de infraestrutura	33
4.2.1	Análise de dados geográficos disponíveis	33
4.2.2	Tratamento topológico	36
4.2.3	Preparação da tabela de atributos	40
4.3	Processamento dos dados de demanda	42
4.3.1	Matriz O/D	42
4.3.2	Tratamento dos centroides	45
4.4	Elaboração do modelo base (cenário atual)	45
4.5	Elaboração de modelos alternativos (cenários possíveis)	45
4.6	Procedimento no TransCAD	46
5	Resultados	49
5.1	Análise do impacto da ferrovia para o transporte de carne	49
5.1.1	Cenário 1	49
5.1.2	Cenário 2	50

5.1.3	Cenário 3	51
5.1.4	Momento de transporte	52
5.2	Análise do impacto da ferrovia para o transporte de carne em Santa Catarina . .	54
5.2.1	Cenários 1,2,3	55
5.2.2	Momento de transporte para o caso de Santa Catarina	55
6	Conclusões	57
6.1	Conclusão do trabalho	57
6.2	Sugestões para trabalhos futuros	58
	Referências	59

LISTA DE SIGLAS

AHP - *Analytic Hierarchy Process*

ANTF - Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários

CET/SP - Companhia de Engenharia de Tráfego da cidade de São Paulo

CNT - Confederação Nacional dos Transportes

DEINFRA -SC - Departamento Estadual de Infraestrutura de Santa Catarina

DER - Departamento de Estradas e Rodagem

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

FTC - Ferrovia Tereza Cristina

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LabTrans - UFSC - Laboratório de Transporte da Universidade Federal de Santa Catarina

MDIC - Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

PIB - Produto Interno Bruto

PIM - Plano de Integração Multimodal

PNLT - Plano Nacional de Logística e Transportes

SIG - Sistema de Informações Geográficas

TEP - Tonelada Equivalente de Petróleo

TKU - Tonelada-Quilômetro Útil

1 Introdução

O desenvolvimento e a evolução dos sistemas de transporte, suas técnicas construtivas, e veículos contribuíram para um aumento da capacidade de carga e velocidade, e proporcionaram também o desenvolvimento do comércio e da sociedade como um todo (NETO, 2012).

Segundo RODRIGUES (2009), de forma geral, as posições governamentais relacionadas a investimentos na infraestrutura e transportes, contribuíram de maneira determinante para a formação da atual matriz de transportes. Com base em CNT (2015) o sistema ferroviário participa de 20,7% do transporte das cargas brasileiras, revelando que o potencial ferroviário não é explorado em sua plenitude no Brasil, sendo utilizado mediante as limitações do modo rodoviário que participa de 61,0% do traslado de cargas.

MOREIRA; ALCANTARA; SOUZA (2007) explica que a política de incentivos no setor rodoviário pode ser explicado por algumas características específicas do sistema ferroviário como inflexibilidade para transportar pequenas cargas fracionadas, custos fixos elevados e de composição diversa.

Entretanto, NETO (2012) comenta que com o aumento dos volumes de cargas nos últimos anos, a ferrovia passou a ser uma escolha rentável, pois o custo para grandes cargas e longas distâncias torna-se menor se comparado ao rodoviário. Além de desperdiçar menos produto durante o transporte, também consome menos óleo diesel/carga·quilômetro.

No que diz respeito ao estado de Santa Catarina, o polo agropecuário, localizado na região oeste, possui cerca de 3400 indústrias, que empregam mais de 100 mil trabalhadores (FIESC, 2014). Sendo responsável também por cerca de 27% da exportação brasileira de frango e detentora de 17% do rebanho de suínos do país (CEPA, 2015). Os grandes frigoríficos construídos na região e proporcionam a consolidação de grandes lotes de carga.

Para TERUEL; CORTEZ; FILHO (2000) o uso de contêineres frigorificados para o transporte de produtos agrícolas e carnes, permite que o produto seja transportado dentro das condições sanitárias especificadas. Para BALLOU (2006) o uso do contêiner sugere a possibilidade de transporte utilizando a multimodalidade, onde se aproveita das vantagens de cada modo, diminuindo a vagariedade no transporte.

Conforme VALENTE et al. (2015) uma maior eficiência no transporte de cargas resulta em menores custos logísticos e também, em preços de produtos mais competitivos. Para isso, é necessário conhecer técnicas e modelos propostos pela engenharia de tráfego e pelo planejamento

de transportes.

O modelo quatro etapas conduz esse problema complexo de forma mais simplificada, permitindo a interpretação e análise de cada dos processos da sequência. Os critérios de impedância utilizados para realocar as viagens são relativos ao custo de transporte variável (combustível) e um custo fixo (taxa de transbordo).

O uso de *softwares* SIG possibilita o manuseio de forma organizada e prática das informações georreferenciadas obtida no banco de dados de órgãos públicos. Os processos de tratamento de feições vetoriais da malha rodoviária permite atribuir características que objetivam simular o modelo conjuntamente aos *softwares* de tráfego.

1.1 Justificativa

Para (RODRIGUES, 2009), um fator relevante para a rápida disseminação da infraestrutura rodoviária no Brasil é o menor custo de implantação em relação ao sistema ferroviário. O autor ainda afirma que, quando se trata de grande volume de carga e distâncias maiores de 500 quilômetros, o custo de operação da ferrovia é menor em relação ao rodovias, além de grande eficiência energética. Logo, a matriz de transportes de carga brasileira (que segundo (CNT, 2015), conta com 61% de uso das rodovias e 20,7% em ferrovias) torna-se no mínimo incoerente com o potencial do sistema ferroviário, tendo em vista que o Brasil é o quinto maior país do mundo em extensão territorial. Essa dicotomia despertou a curiosidade do porquê não explorar de forma técnica e prática o sistema ferroviário.

A engenharia de tráfego apresenta, através das literaturas, diversas técnicas de modelagem de transporte. Com essas ferramentas os engenheiros podem analisar, exercitar e quantificar diferentes cenários, convergindo para aquele que melhor satisfaz a situação.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o comportamento do fluxo do transporte de cargas de 1000 toneladas de carne de frangos e suínos em Santa Catarina após implantação de um sistema ferroviário, utilizando modelagem macroscópica.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos são colocados:

- estudo das características dos sistemas rodoviário e ferroviário;
- estudo do modelo quatro etapas de transporte;
- levantamento de dados da área de estudos necessários para realizar o modelo;
- estudo de “*softwares*” para tratamento de dados e modelagem do tráfego;
- elaboração de um modelo para análise de diferentes cenários;
- comparação entre diferentes cenários.

2 Revisão bibliográfica

Cada sistema de transporte possui características distintas que os fazem competitivos para certas situações. Entre os sistemas terrestres, os sistemas rodoviário e ferroviário são os que mais se destacam na matriz de transporte de carga brasileira. Assim, será abordado então estes dois modos de transportes.

Segundo PAIVA (1999), no que se trata de planejamento de transporte, a utilização dos modelos tradicionais é extensamente abordada na literatura técnica. Para realizar e calibrar esses modelos são necessários pesquisas de tráfego, como forma de obtenção de dados. Alguns programas computacionais gerenciam esses dados de forma prática, além de alguns deles interpretar os dados e aplicar o próprio modelo.

2.1 Sistemas de transporte

O transporte está diretamente relacionado ao desenvolvimento da civilização, integrando a sociedade como um todo. Em âmbito econômico, serve como instrumento básico para troca de mercadorias entre regiões produtoras e consumidoras (RODRIGUES, 2009).

Os veículos responsáveis pelo transporte, para cumprirem satisfatoriamente suas funções, necessitam deslocar-se sobre suportes físicos, em ambiente terrestre, hídrico, aéreo, através de rotas pré-estabelecidas, isto é, as vias de transporte. Para cada ambiente diferente existe um modo particular de execução do transporte, isto é, um diferente “sistema de transporte” (NETO, 2012).

Segundo (TEDESCO *apud* Morlok 1978), sistemas de transporte são definidos como sendo um conjunto de elementos e componentes que fornecem e dirigem ações para permitir que pessoas e bens se movimentem. As vias, veículos, sinalização e terminais, são exemplos desses componentes.

De acordo com VALENTE; PASSÁGLIA; NOVAES (1997), a escolha do sistema de transportes varia com o período da viagem, tipos de carga, custo, distância e da necessidade dos clientes e processadores. Como o custo da distribuição da produção é inclusa no preço final da mercadoria, a diminuição dos custos de transporte torna-se uma variável estratégica.

2.1.1 Sistema rodoviário

De acordo com RODRIGUES (2009), o transporte rodoviário é um dos mais simples e eficientes, já que necessita somente de rodovias. A possibilidade de serviço de entrega fracionado "porta a porta", maior disponibilidade de vias de acesso, rapidez na entrega, embarques de pequenas cargas, facilidade na substituição do veículo, são elencados como vantagens pelo autor.

VALENTE (2013) afirma que pela elevada flexibilidade do modo quanto a escolha de rotas e horários, é indicado para distribuições urbanas e para pequenas e médias distâncias. Conforme consta em RODRIGUES (2009), pesquisas internacionais comprovam que para distâncias maiores de 500 quilômetros, o modo rodoviário torna-se antieconômico, visto que o consumo de combustível (litros/TKU) dos veículos é elevado .

O pavimento de rodagem é constituído de múltiplas camadas de espessura finitas que objetivam propiciar ao usuário boas condições de rolamento com conforto e segurança (BERNUCCI et al., 2006). O custo de implantação dessa infraestrutura, segundo RODRIGUES (2009), é relativamente baixo. Entretanto esse tipo de transporte requer manutenção constante da via, uma vez que o pavimento sofre sérios danos com o sobrepeso dos veículos de carga. O mesmo autor afirma que por pressão das montadoras, o limite de peso por eixo tem sido flexibilizado. Em 1968, o limite era de 5,0 toneladas por eixo de roda simples, hoje a carga limite subiu para 6,3 toneladas. Desse modo, para restaurar 1,0 km de rodovia pavimentada são gastos aproximadamente R\$100 mil.

Segundo, BALLOU (2006), os custos fixos são mais baixos dentre os transportadores, pois as empresas de frete não são donas da rodovia que utilizam.

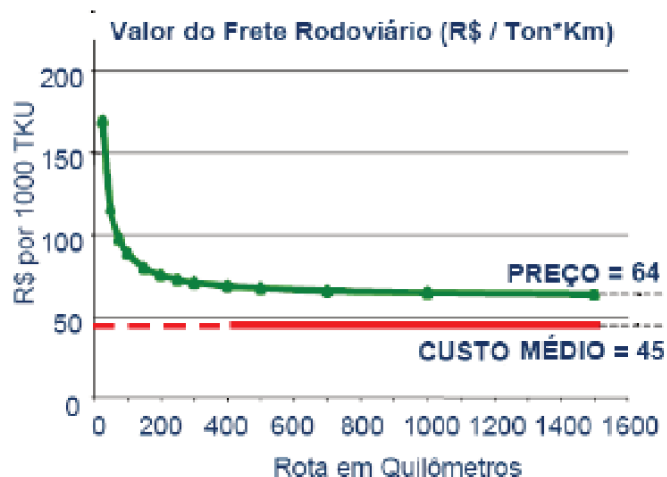
ANTF (2011) mostra, através do gráfico da Figura 1, o preço dos fretes rodoviários (verde), e o custo padrão médio do transportador para realizar o serviço (vermelho). Para longas distâncias o preço do frete é mantido em valores muito baixos tornando o sistema rodoviário competitivo, o que impede desenvolvimento de outros modos de transporte.

A diferença entre as linhas é interpretada como uma margem de lucro do transportador. Assim, para compensar a pequena arrecadação em viagens longas, surgem alternativas como: redução da manutenção do veículo, jornada excessiva de trabalho, sobrepeso no carregamento, resultando em um aumentando os riscos da viagem (ANTF, 2011).

Os riscos que o caminhoneiro enfrenta para realizar a viagem competitiva em longas distâncias, mostra que esse sistema de transporte não é o ideal para viagens com essas características.

Para compor os custo do frete da Figura 1 não foram levados em consideração a depreciação do veículo nem o valor do caminhão.

Figura 1: Comparação do preço do frete e custo médio do serviço. Fonte: Adaptado de (ANTF, 2011).



A Figura 1 mostra que a curva de preço comporta-se de maneira praticamente paralela a partir de 500 quilômetros de percurso do frete, coincidindo com o relatado por RODRIGUES (2009).

2.1.2 Sistema ferroviário

Segundo BALLOU (2006) o sistema ferroviário translada principalmente matérias-primas ou manufaturados de baixo valor agregado. O transporte ocorre em baixas velocidades e normalmente para longas distâncias. Por apresentar baixos índices de acidentes e furtos é considerado relativamente seguro, se comparado à outros modos de transporte. Segundo o autor, apresenta custo operacional tonelada/km transportado menor que o sistema rodoviário. O autor ainda relata outras características como possuir vias exclusivas e suportar transportar grandes volumes.

De acordo com VALENTE (2013), esse sistema possui veículos que operam sobre trilhos e conectam, assim, estações ferroviárias, aos portos secos e a outros terminais ferroviários.

VALENTE (2013) comenta que os veículos são constituídos basicamente pela unidade tratora (locomotiva) e os reboques podendo ser chamados de vagões quando o transporte é carga ou carros, no caso de transporte de passageiros. O conjunto (comboio) é chamado de trem. Para RODRIGUES (2009), por causa da formação da composição e paradas no percurso,

o tempo de viagem pode tornar-se irregular.

NETO (2012) cita que a superestrutura é composta por: trilhos, cuja distância entre as faces internas é definida como bitola; dormentes, estruturas onde se apoiam os trilhos podendo estes serem de madeira, concreto ou aço, e pelo lastro de material com as propriedades adequadas, podendo ser cascalho, brita ou escória. Esses três elementos constituem a chamada via permanente. Esta, segundo o autor, se apoia na plataforma rodoviária ou “coroa do leito ferroviário”, que seria a superfície resultante da terraplenagem. Na Europa já existem vias permanentes compostas somente por trilhos apoiados em lajes.

Os critérios para elaborar o traçado, encarecem o custo de implantação do modo ferroviário, tornando-o relativamente caro (VALENTE, 2013). O projeto geométrico da ferrovia exige curvas com raios grande e rampas com até 0,5% de inclinação (como regra geral), dependendo da carga transportada pode-se alterar esse limite, a máxima inclinação que confere aderência trilho/roda é 3,0% (ESVELD, 2001).

A Tabela 1 mostra um comparativo entre os sistemas rodoviário e ferroviários sobre consumo de óleo diesel para transportar uma tonelada entre diferentes distâncias.

Tabela 1: Tabela comparativa de consumo de combustível por distância. Fonte: NETO (2012).

Sistema	Rodoviário		Ferroviário		Diferença	
Distância	Total litros	Litros/Ton	Total litros	Litros/Ton	Total litros	Litros/Ton
100	2500	5	350	0,7	2150	4,3
400	10000	20	1400	2,8	8600	17,2
4000	100000	200	14000	28	86000	172

Além de ser vantajoso financeiramente, o fato da autonomia (km/l) ser maior revela uma conotação ambiental pois há emissão de menos poluentes atmosféricos. E conforme a distância aumenta, a diferença de litros de combustível consumidos também aumenta, evidenciando a vantagem do modo ferroviário sobre o rodoviário no aspecto econômico e ambiental.

2.1.3 Multimodalidade e uso de contêineres

Para BALLOU (2006), multimodalidade é quando dois ou mais modos individuais de transporte são envolvidos para uma única entrega. A troca de cargas entre modais de transporte é denominada transbordo de carga. O autor comenta ainda que uma total integração dos modais de transporte é o ideal, pois busca-se utilizar as características favoráveis de cada modo, evitando assim casos de onerosidade na entrega.

Segundo RODRIGUES (2009), para realizar um frete com uso da multimodalidade é

necessário somente um contrato, com um único responsável, o que simplifica e facilita a movimentação da carga jurídico-administrativamente. Essa etapa, segundo VALENTE (2013), difere a multimodalidade da intermodalidade, visto que na última, há emissão de contratos para cada sistema utilizado.

De acordo com BALLOU (2006), o símbolo de multimodalidade é contêiner, pois é um artifício transferível para todos os modos de transporte terrestre (com exceção de dutos). Segundo RODRIGUES (2009), os contêineres são caixas de aço unitizadas que dispõe de acessos e servem para o transporte diversos produtos. De acordo com o autor podem ser agrupados nos tipos: Carga geral, térmicos, tanque, granel, plataforma, especiais. Os térmicos ainda podem ser isolantes, refrigerados e com calefação. A troca de cargas entre modais de transporte é denominada transbordo de carga.

2.2 Modelos de tráfego e modelo quatro etapas

De acordo com VARGAS (2011) um modelo objetiva figurar parte da realidade. Para isso são determinadas características e elementos considerados relevantes para o objetivo final.

Para ARIOTTI (2010), os modelos de tráfego podem ser classificados quanto a grandeza temporal ou espacial, bem como o nível de agregação das variáveis de tráfego. Os modelos temporais subdividem-se em estáticos, quando apresentam condições de equilíbrio entre os elementos, e dinâmicos, representado por variações durante o período de modelagem.

Em relação ao nível de agregação das variáveis de tráfego, podem ser classificados como macroscópicos, mesoscópicos e microscópicos. O primeiro, segundo BARCELÓ (2010), é baseado na teoria de fluxo de tráfego contínuo, cujo objetivo é a descrição da evolução das variáveis do tráfego (volume, velocidade, densidade) em um espaço-tempo. Os modelos microscópicos, para FHWA (2004), simulam o fluxo e os movimentos de veículos nas vias perante variáveis como: semáforos, interseções, trânsito, sinalização, normalmente utilizando a grandeza temporal em segundos. Os modelos mesoscópicos podem levar os comportamentos de modelos macro e microscópicos em consideração.

PAIVA (1999) comenta que os modelos de tráfego tem como base a representação de um espaço contínuo. Este espaço, segundo CAMPOS (2013), recebe o nome de área de estudo e é delimitada pelo cordão externo, ou “*cordon line*”. Pode-se realizar uma subdivisão da área originando as zonas de tráfego, regiões básicas do modelo. Essas zonas normalmente respeitam divisões político-administrativas ou censitárias pré existentes para facilitar a obtenção de dados e características.

As representações das características das zonas de tráfego são atribuídas à um subconjunto de pontos chamado de centroides, no qual o tráfego é gerado ou atraído (PAIVA, 1999). O mesmo autor comenta que para representar os sistemas de transporte é utilizado malhas (ou redes) formadas de nós (pontos, terminais viários, cruzamentos) conectados através de “*links*” (trechos de vias).

Um dos modelos mais utilizados para planejamento de transporte é o quatro etapas “*four steps model*”. Comumente reconhecido como “modelo tradicional”, segundo (VARGAS, 2011), ou como modelo sequencial, pela definição de (CAMPOS, 2013).

De acordo com TEDESCO (2008), o modelo quatro etapas tem por objetivo representar as viagens (deslocamentos) quanto a quantificação, tipificação. Possibilitando prever ou direcionar melhorias operacionais, adequar ou ampliar a infraestrutura e implantar novos serviços de transporte. Tornando-se assim uma ferramenta para tomadas de decisões em relação aos investimentos públicos.

O modelo é dividido em quatro estágios ordenadas:

1. Geração de viagens;
2. Distribuição de viagens;
3. Escolha do modo de transportes;
4. Alocação das viagens.

VARGAS (2011) comenta que o modelo pode ser visto como uma aplicação particular das análises de sistemas de transporte. Dependendo do tipo de modelo estudado, a ordem das etapas pode ser alterada.

Para fins de entendimento, as etapas serão explicadas na sequencia tradicional.

2.2.1 Geração de viagens

Primeiramente, ORTÚZAR; WILLUMSEN (2006) descreve o termo “viagem” como sendo o movimento em um sentido de um ponto de origem até um ponto de destino.

A etapa de geração de viagens de um modelo clássico de transporte tem como objetivo estimar o número total de viagens geradas pela origem (geralmente zonas residenciais) e atraídas

para o destino (empregos, serviços, pólos geradores de tráfego, etc) em cada zona de estudo (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2006).

DNIT/IPR (2006) define que viagem, nos estudos urbanos, normalmente é considerada como o percurso que realiza uma só pessoa, usando um ou vários meios de transporte, de um ponto de origem a um ponto de destino. Caso duas pessoas façam a mesma viagem ela será contabilizada como duas viagens. Já nos estudos em zonas rurais, uma viagem é o percurso realizado por um veículo.

Na etapa de geração de viagens há diversas dificuldades quanto a obtenção de dados para a modelagem. Segundo ORTÚZAR; WILLUMSEN (2006) não se sabe ao certo quantas viagens são originadas em cada zona. Do mesmo modo da escolha de frequência de viagens: “quantas vezes a viagem ao shopping, por exemplo, serão consideradas na média semanal de um motorista?”. Isto é normalmente interpretado usando modelos descritivos multicritérios. Para isso VARGAS (2011) sugere que a etapa pode ser alimentada por dados obtido entrevistas domiciliares (EDOM) ou modelada através de relações, no presente, entre o número de viagens geradas em cada zona de tráfego e variáveis socioeconômicas.

Segundo CAMPOS (2013), os métodos mais utilizados para tratar esses dados são listados a seguir, os três primeiros possibilitam estimar a geração de viagens utilizando um fator que multiplica o número de viagens do ano-base:

- Fator de crescimento, fator calculado por variáveis socioeconômicas (população, taxa de emprego);
- Taxas de viagem, fatores calculados por taxas de ocupação do solo. Para cada tipo de atividade é definido uma taxa de produção e atração;
- Classificação cruzada, pode ser vista como uma extensão de um modelo de taxas de viagens, utilizando-se normalmente 3 a 4 variáveis;
- Regressão, visa construir uma função para estimar a geração de viagens.

2.2.2 Distribuição de viagens

Uma vez definido o número de viagens produzidas ou atraídas nas zonas de tráfego que compõem a área em estudo, o passo seguinte é a determinação da origem e do destino dos movimentos interzonais (distribuição das viagens entre zonas de origem e destino) (PAIVA, 2010).

De acordo com PAIVA (2010), essa etapa tem por objetivo desenvolver procedimentos que representem viagens entre as zonas de tráfego na área de estudo e no seu entorno, através da potencialidade de cada zona gerar viagens e na atratividade de zonas de destino. Características como distância, custo e tempo da viagem interzonal também contribuem para estimar essa tendência.

Segundo VARGAS (2011) as viagens entre zonas não consideram os sistemas de transporte e nem as vias que seriam utilizadas para tal, sendo representadas por linhas de desejo, linhas retilíneas que vão da zona de origem até a zona de atração.

De acordo com DNIT/IPR (2006), a distribuição de viagens pode ser representada através do modelo Fratar, que relacionam as taxas e fatores de crescimento ao movimento entre pares de zonas. O conceito básico do o modelo de Fratar é que o número de viagens da zona “i” para a zona “j” é proporcional ao número de viagens atuais geradas pela zona “i” multiplicado pelo fator de crescimento da zona “j” (CAMPOS, 2013).

Há também os modelos denominados “sintéticos”, tendo como um exemplo o modelo gravitacional, que é uma analogia à lei gravitacional de Newton, onde a força de atração entre origem e destino é diretamente proporcional à produção e geração de viagens, e inversamente proporcional ao quadrado da distância (DNIT/IPR, 2006).

Os pares origem/destino das viagens na etapa de distribuição de tráfego resulta numa matriz de demanda, onde cada célula contém uma medida de ocorrência de viagem. Essa matriz é conhecida como matriz O/D (PAIVA, 2010).

2.2.3 Escolha do modo de transporte

ORTÚZAR; WILLUMSEN (2006) revela que a escolha do modelo de transporte é certamente uma das mais importantes etapas no planejamento do transporte pois afeta diretamente a eficiência das viagens.

Essa etapa consiste em distribuir o total de viagens entre os diferentes modos de transporte existentes PAIVA (1999). Para (CAMPOS, 2013), nessa fase procura-se fazer um estudo da demanda pelos sistemas de transporte que serão escolhidos para solucionar os deslocamentos da etapa de distribuição de viagens.

De acordo com NOVAES; ALVARENGA (1994), os objetivos básicos das soluções modais podem ser: a diminuição dos custos logísticos ligados ao transporte bem como o uso de modalidades alternativas de transporte que buscam melhorar o nível de serviço ao cliente.

O transporte público usa das mesmas rodovias de um usuário que possui veículo, e quase sem exceção o uso do transporte público em diferentes meios torna o uso da via mais eficiente do que um carro privado. Caso os motoristas passassem a usar o transporte público, os outros motoristas seriam beneficiados por melhorar os níveis de serviço da via (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2006).

CAMPOS (2013) cita que, dependendo da área de estudo e dos sistemas de transporte disponíveis, pode ser feito, primeiramente, uma estimativa que relaciona a proporção de viagens realizadas em transporte coletivo e no transporte individual, ou entre diversos modos.

PAIVA (1999) menciona que para o estudo dessa etapa há relações entre:

- atributos de deslocamento (motivo da viagem);
- atributos do sistema de transporte, quantitativamente (tempo relativo da viagem, contabilizando esperas, custo) e efeitos qualitativos (conforto, segurança e regularidade do transporte);
- atributos dos usuários (possui veículo próprio, quantidade de pessoas na viagem).

Quando se trata de transporte de carga, em geral, a decisão se faz perante o custo de transporte dos sistemas disponíveis.

Segundo CAMPOS (2013) existem basicamente dois tipos de modelos de escolha de sistema de transporte: o determinístico e o probabilístico.

Os modelos determinísticos visam determinar a proporção de viagens feita por cada modo utilizando métodos quantitativos como: regressão linear, classificação cruzada, ou curvas de desvio (CAMPOS, 2013).

Já os modelos probabilísticos relacionam a proporção do uso dos modos com probabilidade de escolha de cada um, feita por um tomador de decisão (CAMPOS, 2013). Pela explicação de VARGAS (2011) os modelos probabilísticos são também denominadas modelos de escolha discreta onde se relacionam o custo generalizado da viagem como impedância às características dos viajantes. São normalmente utilizados para dimensionar frota e infraestrutura para sistemas já existentes, e para avaliar a implantação de um novo modo.

Para SHEN; WANG (2012) os modelos de escolha discreta (probabilísticos) mais comuns incluem o probit e logit binomiais (duas alternativas), o modelo multinomial (n alternativas) e o logit hierárquico ou aninhado, sendo o modelo logit binomial o modelo mais utilizado para

transporte de cargas. Segundo GRANEMANN; GARTNER (2000), normalmente as pesquisas probabilísticas referentes à escolha do modal já são baseadas nesses modelos, e são caracterizadas por questões de poder financeiro do indivíduo.

Os modelos logit hierárquicos ou aninhados são utilizados quando há correlação ou grau de importância entre alguns fatores (PAIVA, 2010). Pode-se considerar como um método multicriterial cuja análise de decisão é baseado em comparações paritárias de critérios relevantes ao estudo (HASHIBA, 2012).

2.2.4 Alocação de viagens

É o último estágio do modelo quatro etapas, onde se modela a escolha de rotas. Segundo VARGAS (2011) busca-se definir, para cada modo, as rotas utilizadas entre cada par origem/-destino.

De acordo com CAMPOS (2013) a alocação de viagens tem por objetivo avaliar a distribuição do fluxo na rede, entre as origens e destinos, tomando como base os caminhos de menor impedância ou caminhos mínimos do ponto de vista do usuário (tempo de viagem, distância, custo monetário, segurança, congestionamento, entre outros).

ORTÚZAR; WILLUMSEN (2006) comenta sobre os efeitos estocásticos cujo aspecto da percepção dos motoristas sobre os “custos” da viagem é enfatizado. Nesse efeito também é elencando as melhores rotas alternativas. Ainda segundo o autor, somente dois métodos que são aceitos na literatura incorporam essas características: o de “*Simulation-Based*”, e o “*Proportion-Based*”. A alocação portanto, pode tornar-se um processo de modelagem mais complexo, tendo em vista a consideração da racionalidade dos viajantes nos modelos (VARGAS, 2011).

Os modelos para alocação podem ser estáticos se as matrizes de viagens forem predeterminadas, ou dinâmica, quando há evolução no tráfego (VARGAS, 2011).

Para ORTÚZAR; WILLUMSEN (2006) o método de alocação mais simples é o "tudo ou nada". Neste método é definido a melhor rota (caminho mínimo) e então todo o fluxo de veículos passará por essa via, sem levar em consideração a capacidade desta CAMPOS (2013).

Este conceito seria razoável para redes com poucas opções de rotas, tendo ligações com alta capacidade e nas quais os custos (tempo ou distância) fossem bastante diferentes CAMPOS (2013).

CAMPOS (2013) cita que os métodos de equilíbrio são definidos como aqueles em que o

custo da viagem em cada nó da rede pode depender tanto do fluxo no *link* quanto do fluxo em outros *link* da rede. A autora comenta que nesse método são utilizadas curvas que relacionam o custo ou tempo da viagem em função do fluxo alocado nesta via

O método de alocação incremental de tráfego tenta reproduzir a decisão do motorista na escolha da rota, tomando como critério o menor tempo. No entanto, como o número de usuários na malha não é constante (dinâmico), são necessárias iterações. A realocação dos usuários nas rotas pode ser feita até alcançarem uma situação em que todos os usuário percorram suas rotas no menor tempo de viagem possível (CAMPOS, 2013).

2.3 Pesquisas de tráfego

O termo pesquisas de tráfego se referem comumente, em projetos de transportes, à contagens volumétricas de veículos em seções de vias em um período de tempo. Pode se referir, também comumente, à descrição de rotas associadas a quantidade de viagens entre pares de origem destino em uma área de estudo.

2.3.1 Contagens volumétricas

As contagens volumétricas têm por objetivo determinar o fluxo de veículos ou pedestres quanto a quantidade, o sentido e a composição que passam por um segmento ou interseção de uma via, num período (CAMPOS, 2013).

Com as contagens volumétricas obtém-se o volume de tráfego correspondente, podendo ser compreendido como o número de veículos que passam pela seção da via, ou de uma determinada faixa, durante uma unidade de tempo (DNIT/IPR, 2006).

Para realizar a contagem volumétrica, pode-se fazê-la “manualmente” ou contar com dispositivos automatizados.

As contagens manuais são feitas por colaboradores. Utiliza-se fichas e contadores manuais. São ideais para a composição de fluxo, análise de movimentos direcionais em interseções e contagens em rodovias com muitas faixas. Para contagens em vias urbanas é comum adotar um critério de grupamento de veículos com base em características semelhantes de operação (automóveis, ônibus e caminhões)(DNIT/IPR, 2006).

Os contadores automatizados são instalados em postos permanentes onde se desejam efetuar contagens contínuas, de longa duração (por exemplo 24 horas por dia, durante todo o

ano). As unidades acumuladoras são as mesmas usadas em contadores portáteis. A captação entretanto, costuma ser feita por sensores de natureza mais estável. Entre os mais utilizados atualmente, pode-se citar os indutores em “loop” (instalados no pavimento). Outros tipos de unidades captadoras usam dispositivos magnéticos, sonoros, radar, micro-ondas, luz infravermelha, células fotoelétricas, etc (DNIT/IPR, 2006).

O Volume Médio Diário (VMD) é o volume de veículos que circulam durante 24 horas um trecho de via. Esse dado é computado para um período de tempo representativo de um ano (quando não há outra indicação). Na determinação do volume de tráfego são contabilizados todos os veículos que atravessam o trecho da via em um só sentido (raramente) ou em ambos, ou ainda, os que circulam por uma só faixa. A unidade de medida é veículos/dia (vpd). Essas informações podem ser utilizadas na análise de capacidade da via, nas causas de congestionamento e índices de acidentes, no dimensionamento do pavimento, nos projetos de canalização do tráfego entre outras melhorias (DNIT/IPR, 2006).

2.3.2 Pesquisa de origem e destino

Para o planejamento de transporte, as pesquisas origem destino são de suma importância, pois caracterizam a viagem quanto: tipo, valor e peso da carga transportada, números de passageiros, motivos das viagens, horários, frequência, quilometragens percorridas por ano, etc.

Nessa pesquisa o objetivo é conhecer a origem e o destino da carga ou indivíduo sendo este um pedestre, motorista, ou passageiro. Pode incluir dados gerais sobre a pessoa (idade, sexo, renda, escolaridade) e sobre a viagem (frequência, motivo...)(CET, 1982).

Os deslocamentos de pessoas e veículos estão ligados às atividades econômicas e sociais. Na área urbana, o principal deslocamento, é o "casa-trabalho-casa". A quantidade e localização dessas viagens depende do grau de urbanização, do sistema viário, e das características sociais dos entrevistados (CET, 1982).

Segundo ABRAHAMSSON (1998) os dados da matriz origem-destino são geralmente difíceis de obter a partir de entrevistas diretas, tornando as pesquisas relativamente caras.

Assim, vários métodos tentam estimar matrizes O/D através de outros dados de tráfego. O método por contagem do tráfego tem sido desenvolvido e testado mas, por formar um sistema indeterminado, gera diferentes tipos de matrizes e por consequência, várias soluções (ABRAHAMSSON, 1998).

2.4 Uso de SIG em estudos de transportes

O planejamento e gerenciamento de um sistema viário é considerado demasiadamente complexo, visto que existem muitas variáveis a serem consideradas. Um Sistema de Informações Geográficas (SIG), pode ser utilizado para auxiliar e facilitar o manuseio desses dados de maneira mais fácil e apropriada, contribuindo no gerenciamento do banco de dados georreferenciados (MATOS, 2004).

O SIG, pela definição de FITZ (2008), é um sistema formado por conjunto de programas computacionais que integram dados, equipamentos e pessoas. Esse sistema tem por finalidade coletar, armazenar, recuperar, manipular e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas. O autor ainda comenta que outras ferramentas podem ser agregadas ao uso SIG, uma delas é a interface gráfica, outra, a tecnologia de geoprocessamento.

Para se utilizar um SIG é necessário a existência de um banco de dados georreferenciados, ou seja registros referenciados a um sistema de coordenadas (UTM, SIRGAS, por exemplo). Sendo a manipulação desses dados feita por meio de um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) (FITZ, 2008).

Conforme consta em CÂMARA et al. (1996), os dados georreferenciados são comumente caracterizados quanto as características não espaciais (nome ou tipo de variável), características espaciais (localização), e características temporais (quando foram coletados).

O SGBD necessita de uma estrutura para que os dados possuam certa relação entre si. Para essa função são utilizados códigos identificadores que registram-os dentro do sistema. No caso de um SIG é necessário que os dados alfanuméricos sejam correlacionados aos dados espaciais. Os dados alfanuméricos são assim denominados por possuírem caracteres (letras, números e sinais) organizados em tabelas, formando um banco de dados (FITZ, 2008).

Os dados espaciais podem ter estruturas:

- Vetoriais: Estrutura composta por ponto, linha ou polígono, representados por um sistema de coordenadas. Sendo a escala fator para essas representações. Arquivos computacionais com extensões .SHP, são utilizados para armazenar dados vetorizados.
- Matriciais: São os dados raster. Armazenados em forma de matriz, onde cada célula, o *picture element* (pixel), representa um valor e também um par de coordenadas. Arquivos computacionais com extensões .TIF, são utilizados para armazenar dados matriciais

A partir de dados devidamente mapeados e gerenciados por SIG, pode-se conhecer melhor

uma região, fornecendo insumos para futuras tomadas de decisões. Mapeamento de ocupações e construções irregulares, monitoramento de áreas de risco, diretriz de uma via são exemplos de utilização desses dados. (FITZ, 2008).

A possibilidade de visualização dos dados e resultados das análises espaciais em um mapa faz com que o usuário compreenda, de forma facilitada e clara, a informação disposta LOPES (2015).

Os produtos gerados por um SIG caracterizam-se por ter relação com o espaço físico (localização), podendo trabalhar fenômenos climáticos, humanos, sociais e econômicos, entre outros (FITZ, 2008). Esse sistema integra conhecimentos de diversas áreas da Ciência da Computação e de disciplinas relacionadas ao processamento de certos tipos específicos de dados, sendo portanto uma ferramenta interdisciplinar (CÂMARA et al., 1996).

Segundo LOPES (2015), o uso de SIG para modelagem de transporte e logística, auxilia, por exemplo, na avaliação de rotas e composição de custos. Sendo esses cálculos baseados em dados espaciais e alfanuméricos que caracterizam a malha viárias.

2.5 TransCAD

As informações deste capítulo foram obtidas no manual de descrição do programa oferecida em (<<http://www.caliper.com/tcovu.htm>website>) pela CALIPER, empresa que desenvolve o programa. Através do Laboratório de Transporte da Universidade Federal de Santa Catarina (LabTrans-UFSC), foi possível ter acesso ao *software*.

O TransCAD é um programa que integra GIS e algoritmos que implementam modelos de previsão de transporte e logística. Um desses modelos é o quatro etapas. O TransCAD possui ferramentas para verificar e analisar cada processo: a geração de viagens, distribuição de viagens, escolha do modo de transporte e alocação do tráfego.

No que se trata de geração de viagens, o *software* inclui procedimentos para estimar a produção e atração de viagens. Estes procedimentos são baseados em modelos de classificação cruzada (ou método de análise de categorias), regressão e modelos de escolha discreta. Existe também um método para a uma “produção virtual” de população a partir da dados demográficos.

A segunda etapa é usada para prever, espacialmente, um padrão viagens ou fluxos entre origens e destinos. Essa função pode ser utilizada para modelar fluxo de *commodities*, padrões

de vendas e de estocagem de produtos. O *software* fornece ferramentas para calibração de fatores de crescimento, modelos de gravidade, fatores de impedância e calibração de outros parâmetros. Suporta novas técnicas de distribuição baseado nos modelos discretos que incluem preço nas viagens e outros atributos.

A escolha do modo de transporte é utilizada para analisar e prever as escolhas individuais ou de pequenos grupos, elaboradas em modelos de transportes pré-selecionados que são usados em diferentes tipos de viagem. Os modelos probabilísticos Logit e multinomial Logit são elaborados pelo TransCAD através de estimativa de parâmetros. O *software* calcula uma gama destes que são denominados “mais prováveis”, para obter resultados da escolha do sistema de transporte. Estes dados são convenientemente tratados e atribuídos ao modelo Logit. Uma interface que permite o usuário manuseie a estrutura dos atributos Logit graficamente.

A quarta etapa no TransCAD incorpora vários avanços no método de alocação de tráfego e facilitam análises de tráfego rodoviário e impactos no transporte em si, de forma precisa. Pode conseguir elevados níveis de convergência. O método como “tudo ou nada” é acompanhado de ferramentas de definição de parâmetros de impedância e de penalidades caso o veículo assuma uma via não permitida (contramão, por exemplo).

Através de ferramentas geográficas do TransCAD é possível editar dados vetoriais e sua tabela atributos. Pode-se medir, adicionar, alterar e excluir links. A tabela de atributos pode ser alterada e partir dela consegue-se gerar dados estatísticos, realizar operações matemáticas entre outras funcionalidades.

3 Descrição da área de estudo

Santa Catarina localiza-se na região sul do Brasil, tendo como limites o Paraná (ao Norte), o Rio Grande do Sul (ao Sul), a Argentina (Oeste) e o Oceano Atlântico à Leste. O estado integra 295 cidades.

O PIB catarinense é o sexto do Brasil, totalizando, em 2012, R\$ 177 bilhões. O setor primário (fornecedor de matéria-prima) participa com 4,3%, setor secundário (produtos industrializados) com 33,7% e o terciário (comércio e serviços) com 62,1% (FIESC, 2015).

3.1 Economia e seus polos

Segundo, SEBRAE/SC (2013), o estado catarinense possui um perfil econômico diversificado. A agricultura catarinense é baseada em minifúndios rurais localizados principalmente na região oeste. O parque industrial é considerado o 4º maior do país. Segue uma breve descrição socioeconômica dos principais setores. Os dados foram obtidos de (FIESC, 2014):

- **Setor agroindustrial**

Envolve mais de 3,4 mil indústrias, que empregam 105,2 mil pessoas, e concentra a maior parte da produção de alimentos do Estado. O complexo agroindustrial responde por 34,9% das exportações catarinenses. Rendem cerca de US\$ 1 bilhão anuais em carnes de frango e suínos.

- **Setor moveleiro / florestal / madeireiro**

Abriga o maior parque moveleiro da América Latina, gerando postos de trabalho a 70 mil pessoas e atingindo exportações que ultrapassam a casa dos US\$ 800 milhões anuais quase um quarto do total comercializado por Santa Catarina.

- **Setor eletro-metal-mecânico**

Formado por mais de 4,5 mil indústrias, é responsável por 23,5% das transações internacionais do Estado, contribuindo com cerca de US\$ 700 milhões para a balança comercial. Conta com 86 mil empregados.

- **Setor vestuário**

Maior concentração de indústrias do setor na América Latina (6.444, das quais 26 de grande porte), considerada a segunda maior do mundo. O segmento exporta acima de

US\$ 260 milhões (6,7% do volume estadual) e, dos setores industriais, é o que emprega mais gente: 124 mil pessoas.

- **Setor mineral**

Os segmentos carbonífero e cerâmico, juntos, têm mais de 2.100 empresas e representam 4,6% das exportações do Estado (US\$ 141 milhões). Das indústrias de cerâmica catarinenses saem 60% da produção brasileira de pisos e revestimentos. Com quase 47% do total nacional, Santa Catarina é também o maior produtor de carvão mineral do país.

- **Setor tecnológico**

O estado tem mais de 1.500 empresas de tecnologia, que faturam R\$ 1 bilhão ao ano e empregam 13 mil trabalhadores. Grande parte do setor está concentrada em Blumenau, Florianópolis e Joinville.

- **Setor Pesqueiro**

Segundo levantamento da Associação Brasileira de Construtores de Barcos (Acobar), de 2005, existem oficialmente, em Santa Catarina, 41 estaleiros de barcos de pesca, com 2,2 mil empregados. A pesca artesanal envolve 6,1 mil embarcações e 25 mil pescadores que capturam 21 mil toneladas de pescado, movimentando R\$ 95 milhões. Estão registradas 12,6 mil embarcações de pesca, 748 de passageiros, 14,7 mil de esporte e recreio, 58 marinas e iate clubes e 49 oficinas de náutica e lojas.

- **Setor turístico**

Santa Catarina recebe no verão mais de 3 milhões de turistas (incluindo os 500 mil catarinenses que viajam dentro do próprio Estado) e arrecada em torno de US\$ 780 milhões. Os municípios que mais atraem visitantes são Florianópolis, Balneário Camboriú, Blumenau e Joinville, mas os atrativos turísticos estão distribuídos por todo o Estado, inclusive na serra catarinense que não é tão divulgada quanto à gaúcha, mas oferece hospedagem de qualidade e paisagens naturais belíssimas.

A Figura 2 ilustra os polos econômicos do estado e seus principais produtos.

3.2 Expressividade no comércio exterior

Segundo o Ministério de desenvolvimento, indústria e comércio exterior (MDIC), Santa Catarina possui uma indústria robusta e inovadora, integrada às cadeias de fornecimento globais. Os produtos do estado são exportados para cerca de 190 países (FIESC, 2014).

Figura 2: Pólos Econômicos de Santa Catarina. Fonte: (FIESC, 2014).



Em FIESC (2015), consta que em 2014 Santa Catarina expotou US\$9 bilhões, correspondendo a 4% das exportações brasileiras. Os principais países de destino foram Estados Unidos, China, Japão e Rússia.

Aliado ao mercado exportador, Santa Catarina possui a infraestrutura portuária necessária para essas operações. Os portos de São Francisco do Sul, Itapoá, Navegantes e Itajaí, são destaques na movimentação de cargas do estado.

3.2.1 Produção de carne

Santa Catarina está também entre os maiores produtores e exportadores de frangos e suínos do país. Sendo a indústria alimentícia a mais representativa na economia do estado (FIESC, 2015).

Segundo CEPA (2015), em 2015, Santa Catarina participou de 38,02% dos valores das exportações de carne de frango do Brasil. Resultando em aproximadamente 2,2 bilhões de

dólares. Santa Catarina também possui a maior processadora e exportadora mundial de carne de frango.

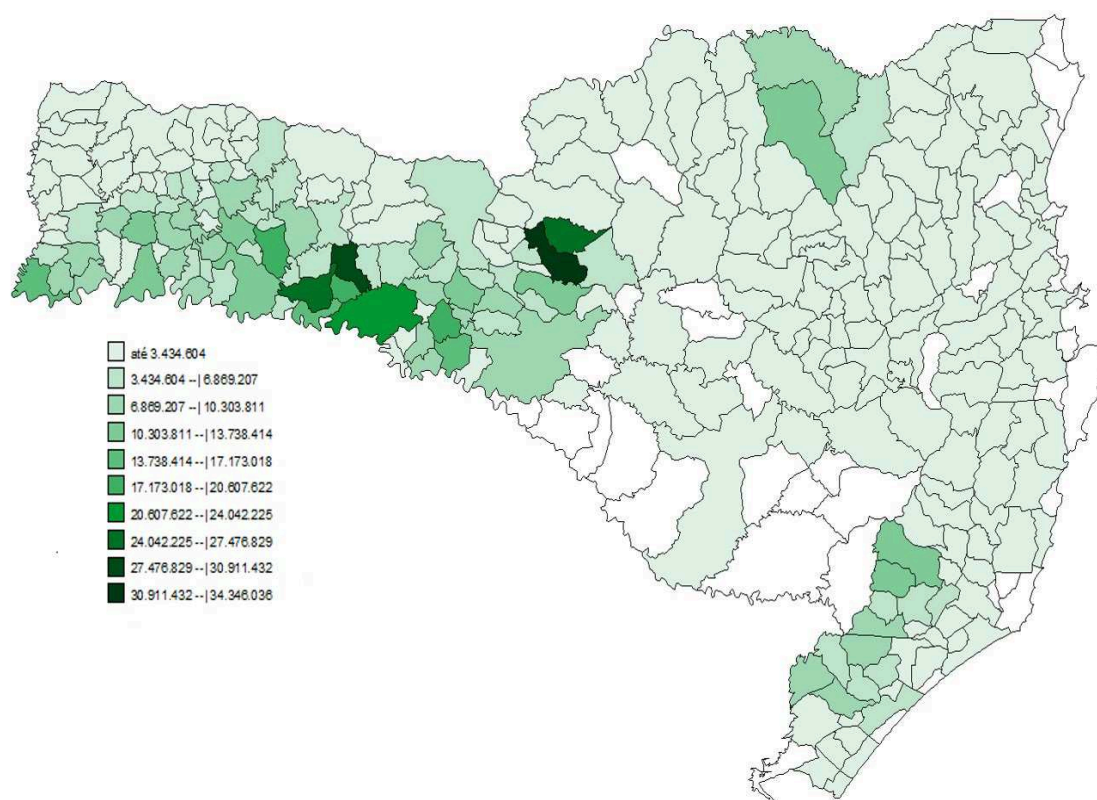
A Tabela 2 mostra a concentração e a participação do rebanho de aves nas mesorregiões de Santa Catarina:

Tabela 2: Rebanho de aves por mesorregião. Fonte: (CEPA, 2015).

Mesorregiões Catarinenses	Localização dos rebanhos	
	2014	
	mil cabeça	Participação %
Oeste	107,5	65,19
Norte	7,9	4,79
Serrana	15,5	9,40
Vale do Itajaí	5,1	3,09
Grande Florianópolis	5,4	3,27
Sul	23,5	14,25

A Figura 3 ilustra o abate de carne de frango nos municípios catarinenses durante o período 2014/2015. As cores escuras mostram um maior número de abate.

Figura 3: Total de abates de frango em 2014/2015. Fonte: (CEPA, 2015).



Segundo, TALAMINI; MARTINS; OLIVEIRA (2007), a carne de frango no sul do Brasil é produzida entre pequenas unidades familiares, agroindústrias e cooperativas. Até pouco tempo

atrás o principal era o frango inteiro. Atualmente o consumidor está aumentando o consumo de cortes e produtos processados, alguns do tipo “*ready to cook*”. Desse ponto de vista, todo o produto é utilizado.

Com base em RODRIGUES (2011) a produtividade não sofre com efeito da sazonalidade já que se usa de ambientes artificialmente climatizados.

Segundo, PEREDA (2005) a carne de frango, após abatimento possui vida útil de sete dias se mantida a uma temperatura entre -2 e 0 graus Celsius, e à uma umidade relativa de 85% a 90%.

Segundo o IBGE, entre 2008 e 2014 o rebanho de suínos do Brasil cresceu 3%, destacando a região centro-oeste que cresceu 22,41%. Entretanto a região sul ainda representa 49,3% do total (CEPA, 2015).

Santa Catarina é o maior produtor do país, contabilizando 854 mil toneladas no ano de 2014, 24,9%. Os rebanhos são locados nas mesorregiões catarinenses segunda a Tabela 3.

Tabela 3: Rebanho de aves por mesorregião. Fonte:(CEPA, 2015).

Mesorregiões Catarinenses	Localização dos rebanhos	
	2014	
	mil cabeças	Participação %
Oeste	4477,8	72,4
Norte	252,3	4,1
Serrana	259,5	4,2
Vale do Itajaí	414	6,7
Grande Florianópolis	14,1	0,2
Sul	761	12,3

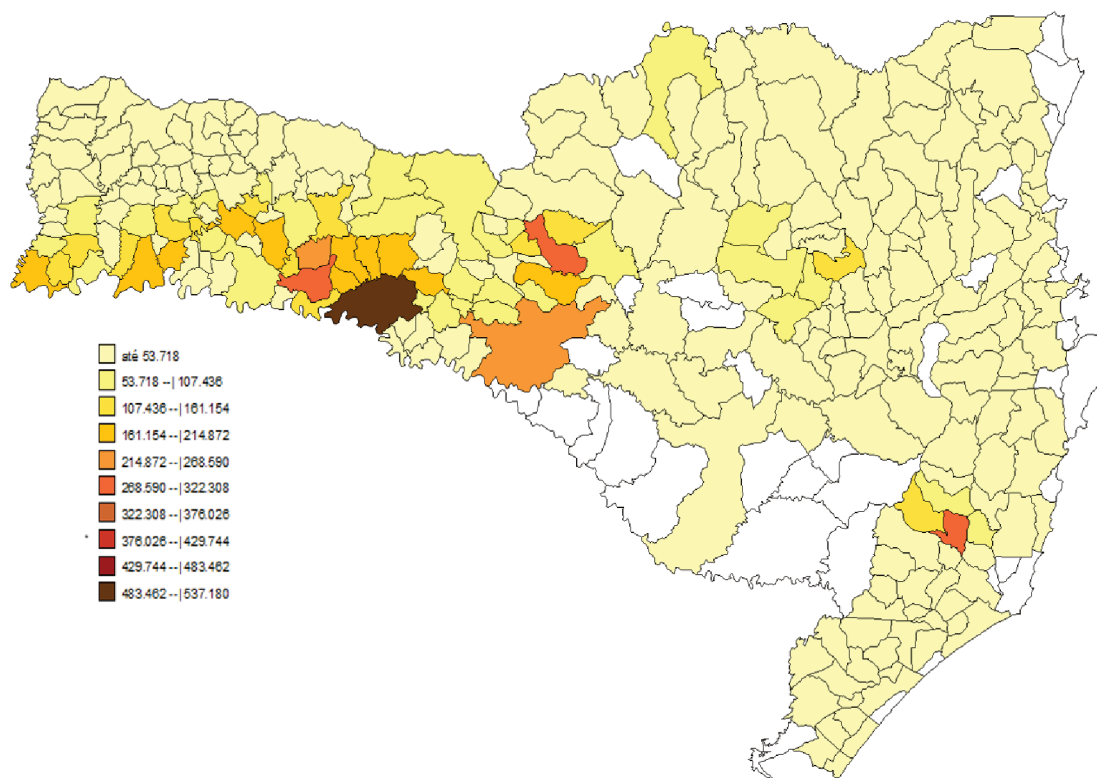
A Figura 4 mostra o total de abates de suínos nos municípios do estado na safra de 2014/2015.

Segundo PEREDA (2005) a carne de suíno pode permanecer de 3 à 12 dias armazenada em refrigeradores, caso a temperatura seja mantida entre -2,0 e 1,1 graus Célsius e à umidade próxima a 90%.

A bovinocultura vem apresentando índices de crescimento médio em Santa Catarina de 10,3% entre 2008 e 2014. Mesmo assim, a produção local não é suficiente para suprir o mercado interno o que obriga a importação de outros estados (CEPA, 2015).

As tabelas e informações supracitadas mostram quantitativamente a concentração de produção de carne na mesorregião catarinense do oeste. Há a consolidação de produção de grandes lotes de carga e necessita ser escoado até pontos de destino sejam eles consumidores ou que

Figura 4: Total de suínos abatidos por município, 2014/2015. Fonte: (CEPA, 2015).



visam a exportação.

Segundo DEINFRA (2008a) o transporte desses produtos, para as distâncias mais longas, é realizado por via rodoviária, na forma de congelados, com o uso de contêineres frigoríficos a fim de não comprometer a sanidade ou vida útil das mesmas.

O monitoramento da climatização de contêineres frigorificados, possibilita o controle de temperatura em uma faixa de -25,0 a 25,0 graus Celsius, permitindo o transporte de produtos já refrigerados como carnes e mercadorias agrícolas (TERUEL; CORTEZ; FILHO, 2000).

3.3 Sistemas de transporte em Santa Catarina

O capítulo a seguir mostra um breve histórico dos sistemas de transporte rodoviário e ferroviário no Brasil e em Santa Catarina, e de que modo cooperam para o desenvolvimento do estado.

Segundo os dados de CNT (2015), a matriz de transporte de cargas do país está dividida em 61% no modo rodoviário, 20,7% no modo ferroviário, 13,6% no modo aquaviário, 4,2% no dutoviário e 0,4% no aéreo. Na matriz de transporte de passageiros a participação do rodoviário é de 95%.

A matriz de transporte de cargas de Santa Catarina conta com 79,9% no modo rodoviário, 7,1% no modo ferroviário, 11,1% no modo aquaviário, 1,8% no modo dutoviário, e apenas 0,1% no modo aéreo. O uso demasiado da rodovia no estado é explicado pelo transporte predominantemente de carga com alto valor agregado e também pela malha ferroviária deficiente DEINFRA (2008b).

3.3.1 Transporte rodoviário

A primeira rodovia pavimentada de Santa Catarina foi a BR-116 localizada no planalto, sendo caminho entre o Rio Grande do Sul e São Paulo. Na década de 70, iniciaram investimentos para a ligação do estado em si, e não mais como “território de passagem”. Para isso foram criadas as rodovias B-470, BR-101, BR-153 e BR-280. A partir de 1975 o próprio estado passou a investir na pavimentação das estradas (DEINFRA, 2008b).

Atualmente Santa Catarina possui 7056 quilômetros de estrada pavimentada sendo 33,2% rodovias federais e 53,8% rodovias estaduais. Os outros 13% são de responsabilidade municipal (CNT, 2015).

Um dos insumos relevantes das pesquisas do CNT (2015) é quanto à segurança nas vias. A Tabela 4 mostra, em quilômetros, uma análise das vias Santa Catarina em relação ao estado geral da via, ao pavimento, à sinalização e geometria (curvas verticais e horizontais incoerentes com as especificações). O relatório classifica os itens quanto à qualidade (ótimo, bom, regular, ruim e péssimo).

Tabela 4: Classificação das características avaliadas de Santa Catarina(em km). Fonte: Adaptado de (CNT, 2015).

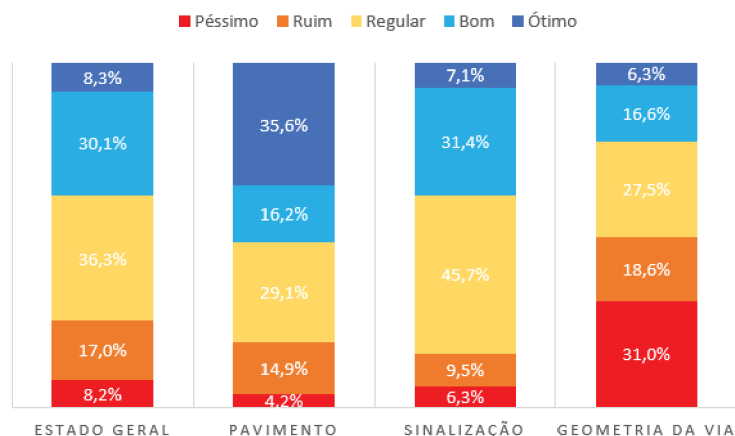
Santa Catarina	Estado geral	Pavimento	Sinalização	Geometria da via
Ótimo	263	1127	224	200
Bom	954	514	995	526
Regular	1150	920	1446	869
Ruim	538	472	301	588
Péssimo	260	132	199	982
Total	3165	3165	3165	3165

A Figura 5 mostra as proporções das características avaliadas no estado.

Assim, Santa Catarina possui 48,2% das rodovias em estado regular, ruim ou péssimo, o mesmo estudo aponta que 48,6% dos pavimentos rodoviários brasileiros estão nessas mesmas condições.

61,5% das rodovias catarinenses apresentam sinalização inadequada. Para o Brasil essa

Figura 5: Resumo das características avaliadas de Santa Catarina. Fonte: Adaptado de (CNT, 2015).



relação é de 51,4%.

A geometria das vias do estado foram avaliadas com 77,1% de geometria inadequada 31,0% classificados como péssimo. Nas rodovias brasileiras, 77,2% classificadas como inadequado, 28,5% consideradas em péssimo estado.

3.3.2 Transporte ferroviário

No período de 1874 a 1913, onde houve o maior crescimento da malha ferroviária no Brasil, foi também o período das primeiras estradas de ferro catarinenses.

O primeiro trecho de estrada de ferro do estado foi o da atual Ferrovia Tereza Cristina (FTC), que ligava os portos às minas de carvão (DEINFRA, 2008b). O projeto autorizado em 1876 teve início em 1880, e compreendia uma linha férrea com 116 km de extensão. Em 1918 construiu-se os ramais que ligam às minas de Criciúma, Urussanga e Araranguá. Segundo SILVEIRA (2006) o transporte de pessoas e produtos de pequena produção mercantil, como cereais e suínos, além do carvão fez com que a ferrovia contribuíram para o desenvolvimento daquela região.

O auge do uso da ferrovia, segundo (SILVEIRA, 2006), foi em 1985, por conta da construção da Companhia Siderúrgica Nacional. A ferrovia transportou para os portos de Imbituba e Laguna cerca de 49,5 milhões de toneladas de carvão. Três anos mais tarde, o governo cessou o subsídio para extração do carvão e para o frete do mesmo, e a linha passou a entrar em decadência.

A ferrovia hoje tem 90% da sua produção voltada a termoeletrica de Jorge Lacerda e

possui vários ramais desativados (SILVEIRA, 2006).

No vale do Itajaí, em Blumenau, foi iniciada a construção da Estrada de Ferro Santa Catarina datada de 1909, cujo traçado primeiro ligava Ibirama à Blumenau e ao porto de Itajaí, para o transporte de madeira provinda do planalto (SILVEIRA, 2007). Ao longo de 50 anos de história, essa ferrovia foi gradativamente estendida ao longo do vale do Rio Itajaí, ligando as principais cidades da região, chegando a 175 km. Porém, com o desenvolvimento da SC-470, a ferrovia foi desativada em 1971 por falta de carga (DEINFRA, 2008b).

Em 1910 foi inaugurada construção da Estrada de Ferro São Paulo-Rio Grande do Sul (EFSPRGS). O trecho catarinense ligava as cidades de União da Vitória (Porto União, na Divisa SC/PR) até Marcelino Ramos (Divisa SC/RS). Além de escoar a produção do oeste catarinense e servir de rota para os produtos originados no Rio Grande do Sul, a ferrovia teve relevante importância em relação a segurança nacional (Questão Palmas) e outra disputa (Guerra do Contestado). A ferrovia foi posteriormente chamada de EF-153. Atualmente a ferrovia é considerada obsoleta para uma operação segura (DEINFRA, 2008b).

Em 1917 o ramal União da Vitória- São Francisco foi ativado. Segundo SILVEIRA (2006), o trecho São Francisco inicialmente fazia parte de um projeto para a ligação do Brasil com o Paraguai, entretanto mudanças do projeto fizeram com que somente o esse ramal fosse realizado, ligando-o consequentemente à EFSPRGS. O restante do traçado até o Paraguai nunca foi executado.

Em 1965 foi construído pela Rede Ferroviária Federal S/A, um ramal por entre o vale do Rio do Peixe, sendo conhecido como Tronco Principal Sul. Esse tronco liga Mafra (já interligado à EFSPRGS pelo ramal de São Francisco) à Lages. Posteriormente, em 1969, continuou-se a linha até a estação de Vacaria, no Rio Grande do Sul. Esse novo traçado da ferrovia tinha por objetivo substituir a EF-153 (EFSPRGS) (SILVEIRA, 2006). Atualmente fluxo nesse trecho da ferrovia é designado para o transporte soja e seus derivados visando a exportação. Na ligação Mafra-Lages o fluxo é apenas de passagem, pois não existem terminais de carga (DEINFRA, 2008b).

Segundo DEINFRA (2008b), a consequência da utilização de um ramal obsoleto é a redução dos níveis de segurança e da capacidade de transporte, e por consequência a redução da velocidade, baixo aproveitamento do esforço de tração, além de um custo operacional mais elevado. Estes são os motivos pelos quais a denominada Ferrovia do Contestado está, hoje, com sua operação suspensa.

Em 1990, as ferrovias catarinenses administradas pela Rede Ferroviária Federal S.A. –

RFFSA, foram concedidas a grupos após o Programa Nacional de Desestatização. A EF-153 e a EF-116, ambas sentido norte-sul, e a EF-280 (sentido transversal), fazem parte da empresa Sul Atlântico S.A., atual América Latina Logística do Brasil S.A. (ALL) (DEINFRA, 2008b).

As ferrovias em Santa Catarina são infraestruturas isoladas sem integração o que impede de funcionar uma malha ferroviária. As linhas contribuíram para o desenvolvimento e a integração das cidades por elas servidas, efeitos positivos que ficaram restritos às respectivas regiões (DEINFRA, 2008b). Atualmente, as ferrovias catarinenses assumem pouquíssima importância nos cenários regional e estadual (SILVEIRA, 2006).

3.4 Custos logísticos

Nesse capítulo será abordado questões sobre alguns custos logísticos que mais impactam no preço do produto final.

Segundo o BRASIL (2012), o custo de logística do Brasil em 2002 chegou a 20% do PIB. O estudo realizado pelo Banco Mundial em 1997, mostra que os custos logísticos evitáveis para o caso de comércio externo de contêineres poderiam ser da faixa de 1,2 bilhão de reais anuais. Para (BRASIL, 2012) esta realidade não é muito diferente da observada nos dias atuais. A estrutura dos custos logísticos é apresentada na Tabela 5 onde cerca de 32% do custo logístico é destinado somente ao transporte, representado a maior parcela.

Tabela 5: Estrutura de custos logísticos. Fonte: (BRASIL, 2012)

Item	%
Administração	20,5
Armazenagem	19,0
Estoque	18,7
Trâmites Legais	10,1
Transporte	31,8
Total	100,0

Segundo MOREIRA; ALCANTARA; SOUZA (2007), os custos operacionais do transporte se dividem em custos variáveis e custos fixos. A Tabela 6 indica os maiores gastos na fase de transporte.

A Tabela 6 mostra a grande participação do combustível na composição de custo do transporte de cargas. Conforme comentado na seção 2.1, o sistema rodoviário, para grandes distâncias (500 quilômetros), começa a tornar-se custoso em relação ao modo ferroviário. Dentre esses custos, o combustível se torna importante visto que consumo dos veículos rodoviários é maior comparado à locomotiva.

Tabela 6: Participação dos itens nos custo variáveis e fixos. Fonte: BRASIL (2012).

Custo Fixos	%	Custo Variáveis	%
Pessoal	54,0	Combustíveis	83,7
Manutenção	21,0	Outros Serviços	11,6
Outros serviços	13,0	Terminais	2,7
Aluguéis	3,0	Utilities	1,1
Viagens	3,0	Manutenção	0,6
Seguros, tributos Indenizações	2,0	Seguros, tributos Indenizações	0,3
Administração	2,0	Aluguéis	0,0
Saúde, segurança e meio ambiente	1,0		
Utilities	1,0		
Combustíveis	1,0		

4 Método

Neste trabalho foram coletados dados e características sobre Santa Catarina a fim de simular a área de estudo de forma mais representativa possível. O tratamento desses dados foi feito de acordo com os requisitos do programa TransCAD, sendo que este possui ferramentas para aplicar o modelo quatro etapas. Logo, dentre esses dados destacam-se:

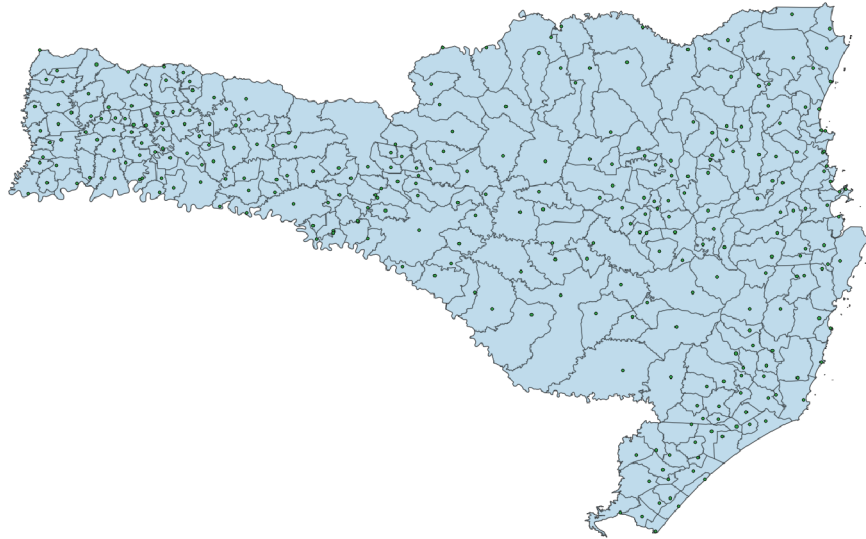
- custos para realizar o transporte do sistema rodoviários e ferroviários;
- dados de infraestrutura, a fim de modelar a malha viária dos sistemas de transporte;
- dados de demanda de tráfego, visando modelar as viagens entre as zonas de tráfego.

Com base nos arquivos de órgãos federais e estaduais (PNLT, DNIT, DEINFRA-SC e FI-ESC) obteve-se informações para ajustar e interpretar a rede viária e a área de estudo conforme o modelo tradicional. A partir disso foram realizados experimentos com diferentes cenários de diretrizes de traçado, utilizando *software* para modelagem de transportes (TransCAD).

Antes mesmo de iniciar a metodologia do modelo quatro etapas, a área de estudo foi subdividida em zonas de tráfego. O critério utilizado para o zoneamento dentro do estado de Santa Catarina foi o próprio limite político-administrativo dos municípios, visto que os dados existentes de origem e destino no transporte de cargas de carne, eram as próprias cidades.

Para cada zona indicou-se seu centroide, totalizando 295 zonas catarinenses. Assim foi pesquisado e obtido a camada de centroides e de delimitação municipal a partir do banco de dados do Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (IBGE). A Figura 6 ilustra a área de estudo:

Figura 6: Área de estudo delimitada, as zonas de tráfego e seus respectivos centroides. Fonte: Autoria própria.



Em consequência da obtenção de dados de tráfego, dentre eles, da matriz origem destino de carne, as etapas de geração e distribuição de viagens já foram executadas.

Sendo assim, as etapas de escolha de modo de transporte e alocação de viagens nas malhas são as principais questões deste trabalho. A implantação de uma ferrovia no sistema atual ocasiona uma nova escolha do modo de transporte e por consequência uma realocação das viagens na malha.

Para fins de organização, foram processados separadamente os dados da infraestrutura atual e dados da demanda de tráfego. Os arquivos processados serviram como dados de entrada para o *software* de modelagem de tráfego escolhido.

4.1 Dados de comparação entre os sistemas de transporte rodoviário e ferroviário

Para realizar etapa de escolha do sistema de transporte é preciso obter dados para realização das metodologias propostas. Dados socioeconômicos poderiam ser utilizados para explorar os métodos determinísticos, ou, para os modelo probabilísticos, o uso de dados de preferência do “tomador de decisão”. Quando se trata de transporte de cargas, o tomador de decisão normalmente escolhe valores de frete e os custos envolvidos para realizar a viagem.

No entanto, o pequeno uso das ferrovias do estado, aliado às concessões privadas das

estradas de ferro, não permitiram a aquisição desses dados. Com isso, os métodos, como o logit binomial, propostos pela literatura para realizar a escolha do sistema de transporte foram descartados. Não foram encontradas informações sobre a proporção de transporte de um mesmo material entre os sistemas, dificultando uma resposta quantitativa.

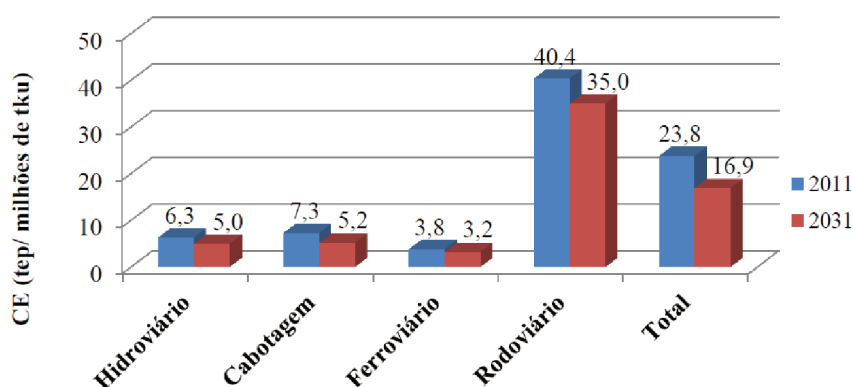
Visto que na etapa de alocação, o método de “tudo ou nada” tem por única premissa o uso do caminho mínimo (após definir o “custo”), procurou-se explorar esse procedimento para uma escolha do modo de transporte através da etapa de alocação. O próprio *software* TransCAD possui ferramentas para tal operação. É necessário, então, encontrar um fator relevante para compor a ideia do caminho mínimo, e atribuir essas características às vias (vetores).

A grande participação do consumo de combustível no montante do custo do transporte permitiu que essa pesquisa fosse fundamentada nesse critério. Ou seja, tomou-se o preço como única impedância para realizar o “caminho mínimo” tendo o consumo de combustível (km/l) a variável de custo a ser quantificada.

4.1.1 Comparação de consumo de combustível

Segundo MESSER (2015), visto que caminhões e locomotivas utilizam combustíveis (fontes caloríficas) diferentes, para equiparar a autonomia é necessário adotar uma fonte calorífica padrão. Para representar a autonomia desses veículos foi utilizado a unidade de energia “Tonelada Equivalente de Petróleo” por milhões de TKU (tonelada-quilômetro útil), sendo que um litro de diesel é aproximadamente igual a 1 quilograma equivalente de petróleo (0,98 KEP). A Figura 7 mostra o consumo específico por modal de 2011 e 2031. Segundo a autora, os valores de 2031 foram calculados a partir do cenário previsto pelo PNLT.

Figura 7: Consumo específico por modal, 2011 e 2031. Fonte: MESSER (2015).



Para o modal rodoviário deslocar 1000 toneladas de produto em um quilômetro da viagem

são necessários 40,4 quilogramas equivalente de petróleo. Já a ferrovia faz o mesmo serviço consumindo 3,8 quilogramas equivalente de petróleo.

Nessa pesquisa, é adotado o custo de um “KEP” como sendo R\$ 1,00. Assim o sistema rodoviário necessita de R\$ 40,40 para mover um TKU, e o ferroviário o faz gastando R\$3,80.

Com base na grande diferença de preço entre os sistemas transporte (R\$ 36,60), percebe-se que os vetores ferroviários iriam compor o caminho mínimo, ou seja a alocação das viagens seria preferencialmente feita na malha ferroviária.

Entretanto o fato do transporte ferroviário não realizar um serviço “porta-a-porta”, reflete em uma solução multimodal, ou seja, participação de caminhões para transporte dos produtos até um porto seco, a fim de carregar o trem. Esse fato tornou o modelo, de certa forma, mais realista. A partir disso obteve-se uma taxa para que o transporte multimodal fosse usado, um custo relacionado à operação de manuseio da carga do caminhão para o trem, também conhecida como taxa de transbordo.

4.1.2 Custo de transbordo

O custo de transbordo é considerado um custo adicional da viagem. Toda vez que o fluxo acessa um vetor de modo de transporte diferente, através de um ponto de acesso (nó de transbordo), essa penalização é cobrada. Na prática seria o custo para o “porta contêiner” exercer sua função.

TALAMINI; MARTINS; OLIVEIRA (2007) constrói a Tabela 7 a partir de dados da Coopercentral referentes ao custo de traslado do frango do frigorífico ao porto de Itajaí. O custo aproveitado dessa tabela remete-se ao valor para manusear um contêiner frigorífico de 25 toneladas num porto. Sendo esse valor, aproximadamente R\$ 351,00.

Tabela 7: Custo no transporte de frangos Frigorífico-Porto. Fonte: Adaptado de (TALAMINI; MARTINS; OLIVEIRA, 2007).

Custo do transporte da indústria ao porto e do carregamento	
Carga por viagem	25 toneladas
Distância ao porto	544 Km
Valor do frete (Itajaí-Quilombo-Itajaí)	R\$ 17.719,99 Contêiner
Custo do Monitoramento no porto	R\$ 38,99 Contêiner
Custo do Manuseio e carregamento	R\$351 Contêiner
Custo total	R\$ 84,41 Contêiner

Como a maioria das variáveis considerada no trabalho são da ordem de 1000 toneladas e 1000 TKU's, o valor do transbordo foi transformado. Para isso bastou-se apenas multiplicar o valor por 40, obtendo-se assim, R\$ 14.040,00.

Visto essa atitude na prática, a multimodalidade é exercida com uma “taxa” mínima de 1000 toneladas. O que é aceitável uma vez que, para ser vantajoso, há a necessidade do modal ferroviário formar comboios de vagões, ou seja, para realizar uma viagem é necessário, no modelo, pelo menos 40 contêineres, que podem representar 20 vagões ou mais.

4.2 Processamento de dados de infraestrutura

Para iniciar a modelagem da infraestrutura é necessário conhecer as rodovias, ferrovias e centroides (pré-selecionados pela demanda) disponíveis em bancos de dados.

Nesta pesquisa os dados necessitam ser gerenciados de maneira qualitativa, quantitativa e espacial, logo buscou-se arquivos vetoriais georreferenciados dotados de atributos (formato “*shapefile*”). As ferramentas para coordenar a análise e tratamento desses dados foram “*softwares*” dotados de GIS. Os programas utilizados foram o Quantum GIS e o GRASS GIS (<<http://www.qgis.org/en/site/>>).

4.2.1 Análise de dados geográficos disponíveis

Para CÂMARA et al. (1996), em geoprocessamento, o conceito de rede refere-se a informações associadas a serviços de utilidade pública (água, luz, bacias hidrográficas, rodovias). Essas, informações espaciais são usualmente armazenadas numa estrutura denominada grafo, onde é armazenada também informações sobre recursos que fluem entre localizações.

O processamento de dados de infraestrutura objetiva a construção do grafo formado por nós ligados a vetores (arco-nó). Para CÂMARA et al. (1996), os vetores têm um sentido de fluxo e os nós podem ser fontes ou sorvedouros. Somente assim, o modelo quatro etapas pode ser aplicado.

Dessa forma, primeiramente procurou-se analisar a representatividade das malhas rodoviárias no DEINFRA/SC, DNIT e PNLT quanto aos atributos e o posicionamento dos vetores.

Em relação aos atributos, todas eram muito semelhantes. Continham campos referentes à administração da via (estadual, federal, municipal), nome, quilômetro inicial e final, tipo do leito do pavimento. Entretanto não possuíam dados que pudessem contribuir diretamente para os estudos de tráfego como volume médio diário, e capacidade da via.

Com relação às feições vetoriais, as malhas do DNIT e do PNLT continham vetores além do estado de Santa Catarina. Todas elas foram analisadas comparando-as às imagens

do Google Earth. Assim, foram escolhidos os dados que melhor representassem a realidade da malha rodoviária da área de estudo.

Os arquivos do DEINFRA-SC contêm as rodovias estaduais mais detalhadas, mas não possui as rodovias federais, por onde passam boa parte do tráfego. A base de dados do DNIT se mostrou a mais carente de informações em relação às outras duas. Logo, optou-se pelos dados vetoriais do PNLT. A Figura 8, após um tratamento para “recortá-las”, considerando somente as feições dentro dos limites do estado, mostra a diferença entre elas:

Para obter somente as feições dentro do estado foi observado que na tabela de atributos da malha escolhida (PNLT) existe uma coluna que contém um código para cada rodovia. Neste código está incluída a informação sobre qual unidade federativa encontra-se a rodovia. Optou-se, primeiramente por um procedimento de filtragem por UF, logo foi criada uma coluna adicional na tabela de atributos que recebeu somente esta informação. A técnica foi realizada com o uso de uma função específica do Quantum GIS, chamada “*Open field calculator*”. Entretanto, como os códigos das rodovias não estavam sempre completos, não foi possível utilizar esse procedimento. Além disso, algumas rodovias de ligação não estavam apresentando o código.

Assim, foi feita a opção pela filtragem por geometria. Foi necessário obter uma camada de dados com o limite político do estado no site do IBGE. Ambos arquivos foram igualmente georreferenciados e então esta camada de dados (polígono) foi utilizada para “recortar” a camada de rodovias, utilizando a função “*Clip*” do Quantum GIS.”

A Figura 9 mostra a sobreposição da malha recortada do PNLT e as imagens do Google Earth para comparações.

Nessa etapa foi identificado visualmente no Google Earth uma série de rotas que não se assemelham à malha proposta pelo PNLT. Assim, utilizando funções de manuseio de feições do QGIS, alguns vetores foram adicionados, outros substituídos e até mesmo retirados. Todos os adicionados, por praticidade, são vetores de feições retas como mostra a Figura 10.

Para as feições do modo ferroviário também foram utilizadas os arquivos vetoriais do PNLT, realizando os mesmos procedimentos para recorte, resultando no mapa mostrado na Figura 11.

Na Figura 11, percebe-se a ausência da malha ferroviária administrada pela companhia Ferrovia Tereza Cristina. Como essa ferrovia não contribui para o estudo, ela não será adicionada a esse banco de dados.

Alguns erros topológicos foram percebidos na malha do PNLT mesmo depois de trata-



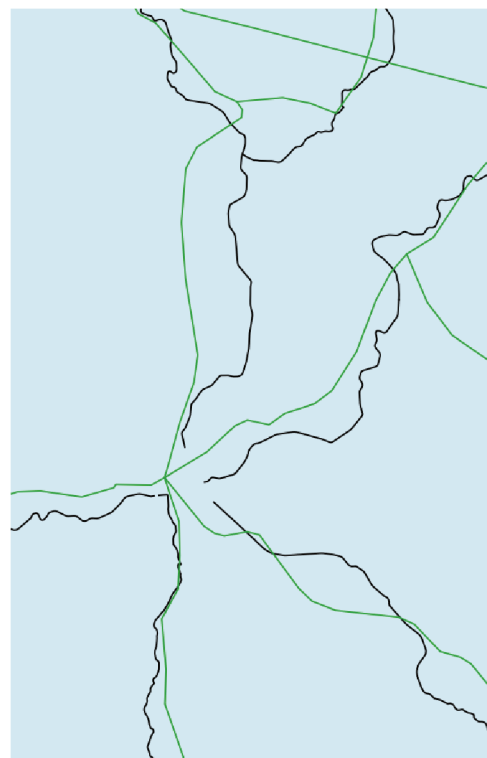
(a) Malha DEINFRA/SC



(b) Malha DNIT



(c) Malha PNLT



(d) Comparação PNLT (verde) e DEINFRA/SC (preto)

Figura 8: Comparação das malhas DEINFRA, DNIT, PNLT e comparação do detalhamento PNLT e DEINFRA. Fonte: Autoria própria.

Figura 9: Malha do PNLT projetada sobre a imagem do Google Earth. Fonte: Adaptado do Google Earth.



mentos manuais, para isso foi utilizado ferramentas de tratamentos e verificações topológicas. Garantindo a integridade da rede.

4.2.2 Tratamento topológico

Segundo CÂMARA et al. (1996), vários algoritmos de cálculo de propriedades podem ser resolvidos apenas considerando a topologia e seus atributos, uma dessas operações é o cálculo do caminho ótimo ou crítico.

Utilizando a ferramenta verificadora de topologia oferecida no Quantum GIS, foi designado algumas regras com a finalidade de produzir uma malha contínua. Estas regras verificam as relações espaciais e suas características, dentre elas:

- a verificação de segmentos sobrejacentes (vetores sobrepostos). Em termos didáticos poder-se-ia comparar duas estradas isoladas que percorrem um mesmo caminho;
- a descontinuidade entre vetores, resultando em nós pendentes “*dangles*” gerando desconexão na rede nesse ponto;
- a inexistência de nós na interseção de vetores que, em termos práticos seria comparado a um viaduto.

Figura 10: Adição e remoção de vetores conforme imagens do Google Earth. Fonte: Autoria própria.

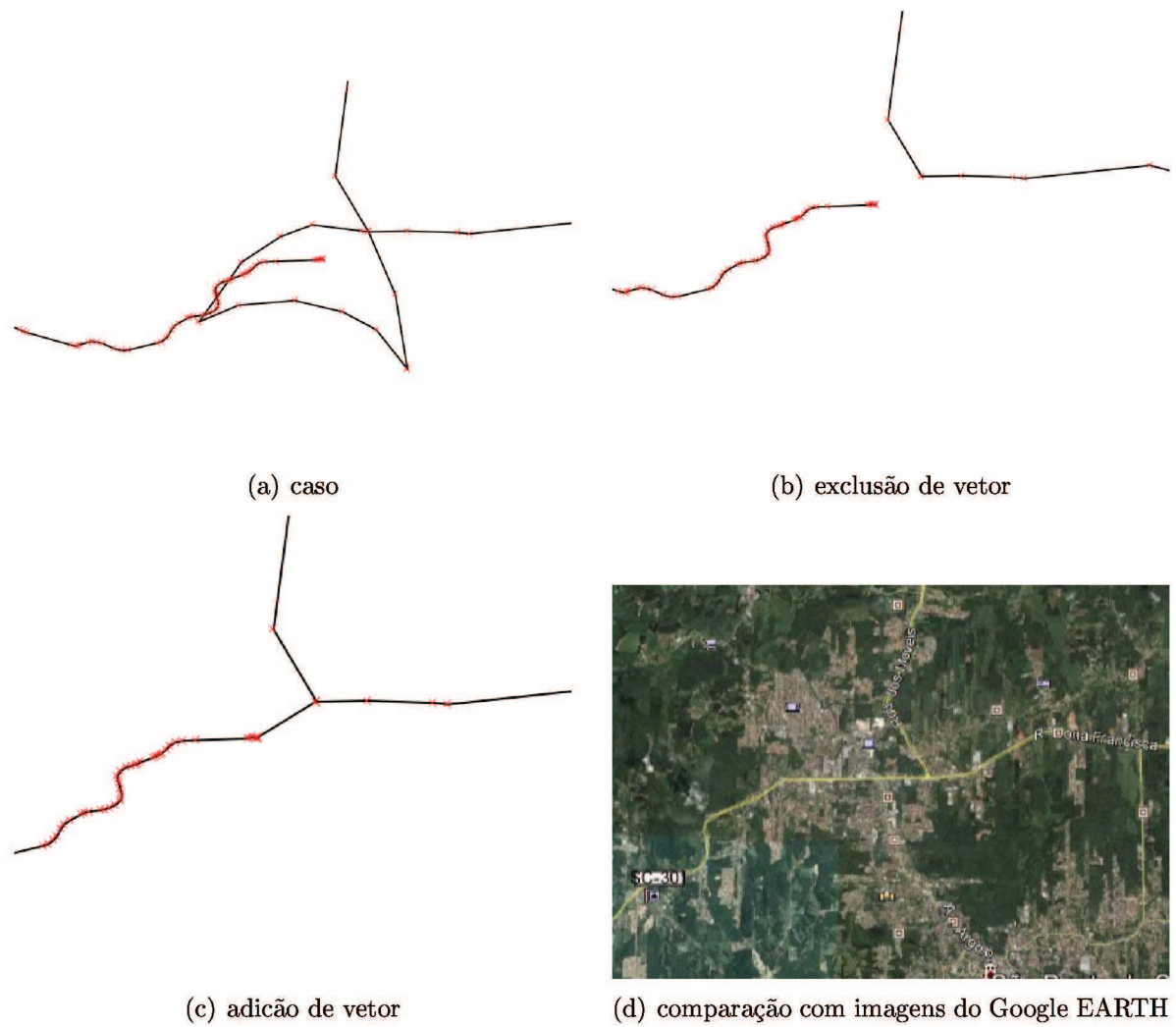
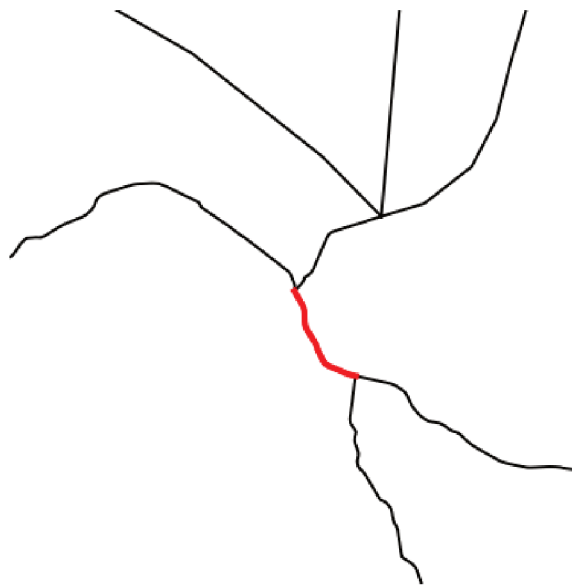


Figura 11: Ferrovias-SC (sem a FTC). Fonte: Autoria própria.

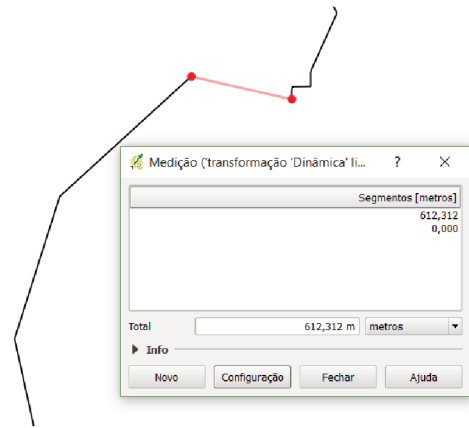


A Figura 12 ilustra os erros elencados.

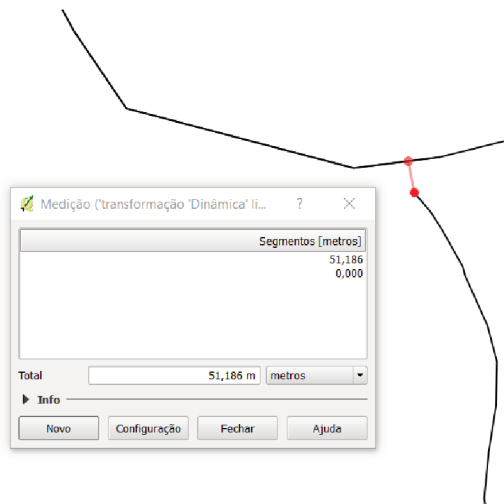
Figura 12: Erros topográficos analisados. Fonte: Autoria própria.



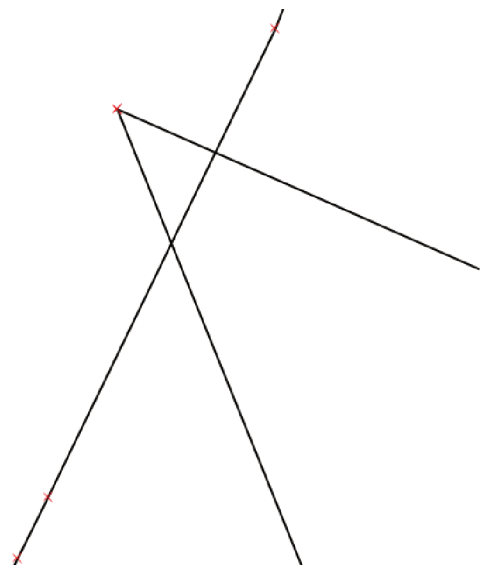
(a) Vetores sobrepostos



(b) Falsos nós



(c) Falsos nós perceptíveis somente com grande “zoom”



(d) Interseção de linhas sem vértice

Para eliminar esses erros utilizou-se o *software* GRASS GIS.

Após conversão das extensões dos arquivos, utilizou-se da função “*vector clean*” para corrigir os erros supracitados. Esta função ainda contém ferramentas para analisar outros problemas topológicos.

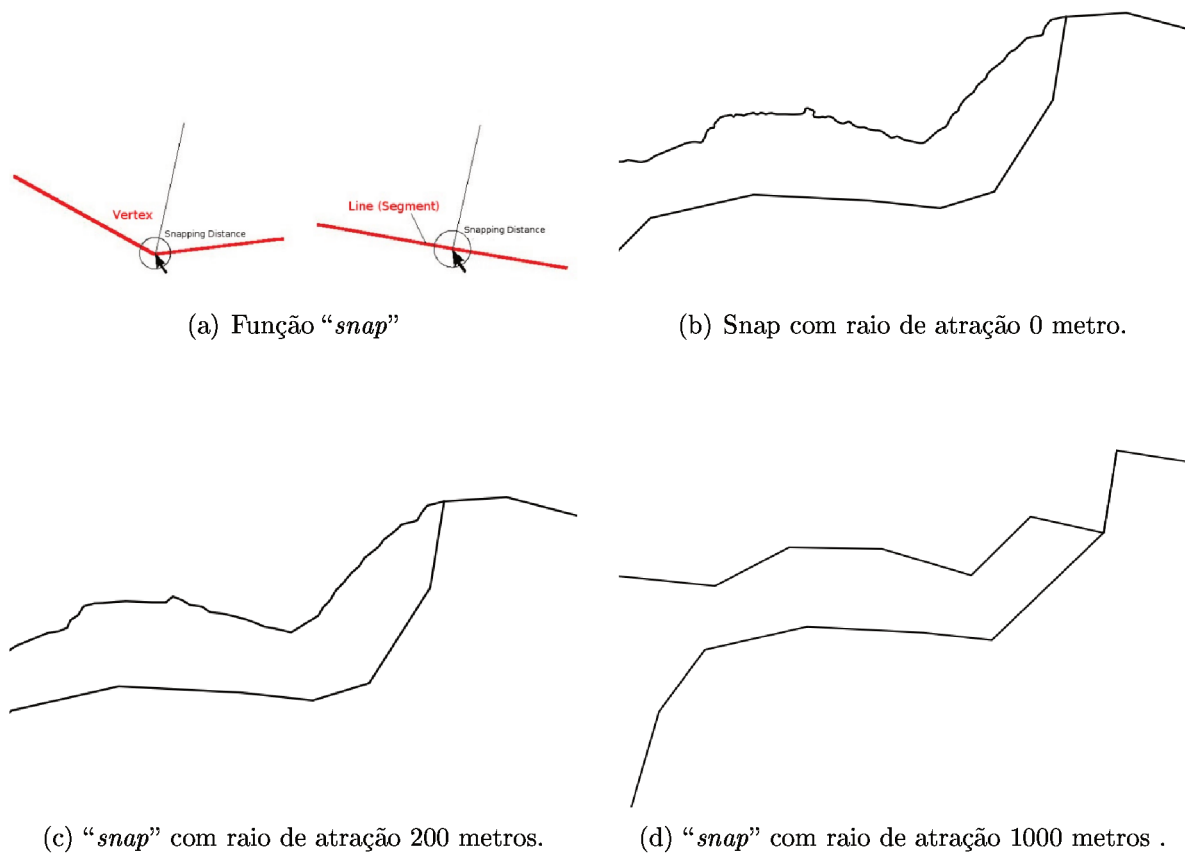
A ferramenta usada pode ser habilitada para que haja uma “quebra” nos vetores em de interseção, criando dois novos vetores unidos por um nó. Isso evita uma sobreposição no ponto

de cruzamento. No caso de vetores ferroviários e rodoviários, essa sobreposição foi fundamental para que não houvesse ponto de transbordo em todos os cruzamentos.

Para corrigir o caso dos nós pendentes, utilizou-se ação “*snap*”, que significa atração. Primeiramente foi definido a tolerância de atração, que é a distância radial que um SIG usa para procurar o vértice e/ou vetor dentro deste campo de atração e uni-los quando processada. Caso o elemento fique fora da distância de atração, nada acontece.

A distância pode ser definida nas unidades do mapa ou em pixels. Se for especificado um valor que é demasiado grande, a ação pode detectar o vértice indesejado. Se especificar um valor demasiado baixo, a ação não vai encontrar elementos ou vértices para mover ou editar. Nessa pesquisa, o raio de atuação foi definido como 200 metros, pois reparava os erros e não prejudicava a representatividade da malha. A Figura 13 ilustra o comportamento dos vetores perante diferentes raios de atuação.

Figura 13: Resultado de diferentes raios de atração. Fonte: Autoria própria.



Concluída as ações, o arquivo retornou ao programa Quantum GIS onde foi novamente verificado a topologia em questão da localização de nós pendentes e de sobreposição de vetores.

Dessa vez os nós pendentes foram localizados somente no final dos links como já era o esperado. A verificação de sobreposição de vetores revelou uma grande quantidade de vetores sobrepostos, o que também já era esperado, uma vez que a ação do “*snap*” atrairá os vértices da extremidade de vetores (dentro do raio de 200 metros) a outros segmentos de vetores. Para resolver essa questão existe a ferramenta “remover duplicados” que se mostrou absolutamente eficaz. Para usar essa função, primeiramente, deve-se reconhecer e marcar os erros de geometria duplicados pelo corretor topológico, e então aplicar a ferramenta de exclusão de duplicados.

Assim, após os tratamentos descritos acima, o arquivo vetorial que representa a malha rodoviária de Santa Catarina tem todos seus vetores “*links*” únicos e conectados entre si através de dois vértices. Esse novo arquivo em formato “*shapefile*” foi chamado de RODO.

Os dados referentes à malha ferroviária, não precisaram ser tratados no GRASS GIS pois, os poucos problemas apresentados na malha permitiram uma correção manual.

Os arquivos processados nessa etapa ainda não estão na forma de grafo, pois ainda não contém os nós, propriamente ditos. As extremidades do vetor são simplesmente interpretados como vértices pelo programa GIS. Entretanto quando carregado no TransCAD, o próprio “*software*” interpreta esses vértices como nós, e passa a criar uma camada “*End Points*” onde são identificados todas as extremidades dos vetores e armazenados em uma camada de pontos, a etapa será analisada no subcapítulo “Procedimento TransCAD”.

4.2.3 Preparação da tabela de atributos

Terminada a etapa de tratamento das feições vetoriais, referentes à condição espacial, restava definir as características qualitativas e quantitativas atribuídas a cada vetor. Na tabela de atributos foi implementado as seguintes propriedades:

- comprimento (COMP), medidos em quilômetros (Km);
- custo unitário para cada quilômetro percorrido (CUST_UNI), medidos em R\$/Km;
- custo total para percorrer o vetor (CUSTO), quantificados em R\$;
- custo referente ao transbordo de um modo para outro, na prática seria um custo adotado para o manuseio de um contêiner (TRA_PENA). Medido em R\$;
- identificadores do modal (MODAL_ID).

A tabela de atributos resultantes é mostrado na Figura 14.

Figura 14: Tabela de atributos das malhas viárias conjuntas. Fonte: Adaptado do Quantum GIS.

COMP	CUSTO	CUST_UNI	TRA_PENA	MODAL_ID
300.44290822...	1261860.2145...	3.8000000000	14040.000000...	2
144.77724710...	608064.43781...	3.8000000000	14040.000000...	2
2.2330000550	89320.002200...	40.4000000000	14040.000000...	1
33.4057687860	1336230.7514...	40.4000000000	14040.000000...	1
15.1954955740	607819.82296...	40.4000000000	14040.000000...	1
5.0444863560	201779.45424...	40.4000000000	14040.000000...	1
26.8028814670	1072115.2586...	40.4000000000	14040.000000...	1
34.2395775050	1369583.1002...	40.4000000000	14040.000000...	1
10.7103743230	428414.97292...	40.4000000000	14040.000000...	1
51.5705939150	2062823.7566...	40.4000000000	14040.000000...	1
28.3581749170	1134326.9967...	40.4000000000	14040.000000...	1
144.19007890...	5767603.1557...	40.4000000000	14040.000000...	1
1072.2571354...	42890285.417...	40.4000000000	14040.000000...	1
1628.3471998...	65133887.994...	40.4000000000	14040.000000...	1
5.0883250460	203533.00184...	40.4000000000	14040.000000...	1
147.74265308...	5909706.1229...	40.4000000000	14040.000000...	1

Para obter o comprimento, foi utilizado uma ferramenta geométrica do Quantum GIS chamada *Length*.

Para o campo MODAL_ID adotou-se o número 1 para vetores que representassem o sistema rodoviário, e 2 para vetores ferroviários.

Os valores de custos unitários foram obtidos com base em MESSER (2015), que aponta o consumo de quilogramas equivalente de petróleo para o transporte de uma tonelada em um quilômetro (KEP/TKU) para os modais estudados. Assim o foi atribuído o custo unitário de R\$ 40,4, para identificadores 1 e R\$3,8 para identificadores 2, considerando R\$ 1,00 o custo do KEP.

O custo total (CUSTO) do vetor foi obtido através da multiplicação do comprimento (COMP) e da coluna CUST_UNI.

A coluna com o custo de transbordo (TRA_PENA) foi calculada, e como já explicado obteve-se o valor de R\$ 14040,00.

4.3 Processamento dos dados de demanda

Os dados de demanda deste trabalho foram encontrados em (DEINFRA, 2008a), onde é especificado, dentre outros tópicos, as matrizes origem destino de vários produtos catarinenses e suas linhas de desejo.

4.3.1 Matriz O/D

As matrizes de produtos relatada no do banco de dados foram obtidas através das pesquisas e entrevistas realizadas no Plano de Integração Multimodal dos Transportes- PIM/MT-SC. Assim, no documento consta a matriz O/D de cada grupo de produtos referentes ao ano de 2005: arroz, calcário, carne, carvão, cerâmica, milho, soja, entre outros. Sendo que os valores de produção e atração de cada produto foram calculados em volumes na unidade mil toneladas/ano.

A Matriz origem/ destino utilizada nesse trabalho é referente ao transporte de carne de frango e suínos. Alguns fatores foram decisivos eleger essa opção, dentre eles:

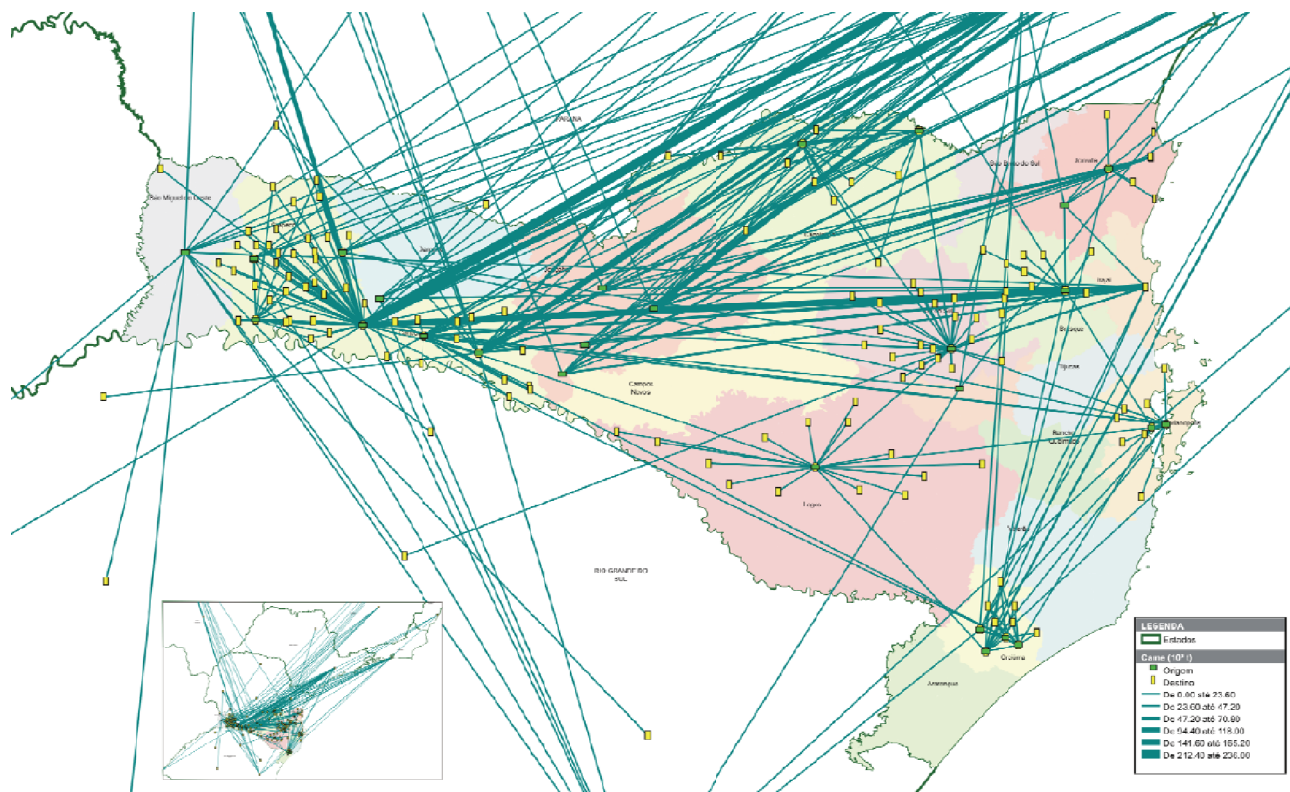
- Santa Catarina ter expressividade na produção de carne em âmbito nacional e internacional;
- distância entre os frigoríficos (oeste e meio oeste) e pontos consumidores e exportadores;
- a concentração de linhas de desejo da região oeste para o litoral;
- a possível unitização (uso de contêineres) para o traslado de cargas frigorificadas, que facilita a operação no sistema multimodal.

A Figura 15 ilustra a linhas de desejo para transporte de carne no estado e em parte do Brasil.

Definida a utilização da matriz de carnes, observou-se a participação de 35 cidades nessa etapa de distribuição de viagens.

Dentro da área de estudo somente 24 cidades participavam da matriz, outras onze cidades (destino) não faziam parte do estado: Porto Alegre/RS, Uruguaiana/RS, Três Passos/RS, Ponta Grossa/PR, Cascavel/PR, Curitiba/PR, São Paulo/SP, Rio de Janeiro/RJ, Belo Horizonte/MG, Cuiabá/MT e Sergipe/PE.

Figura 15: Linhas de desejo para matriz O/D-carne. Fonte: DEINFRA (2008a).



Ao todo foram contabilizados, oitenta e nove pares origem destino, ou seja oitenta e nove diferentes viagens e linhas de desejo. Somente vinte e duas dessas viagens são realizadas dentro de Santa Catarina.

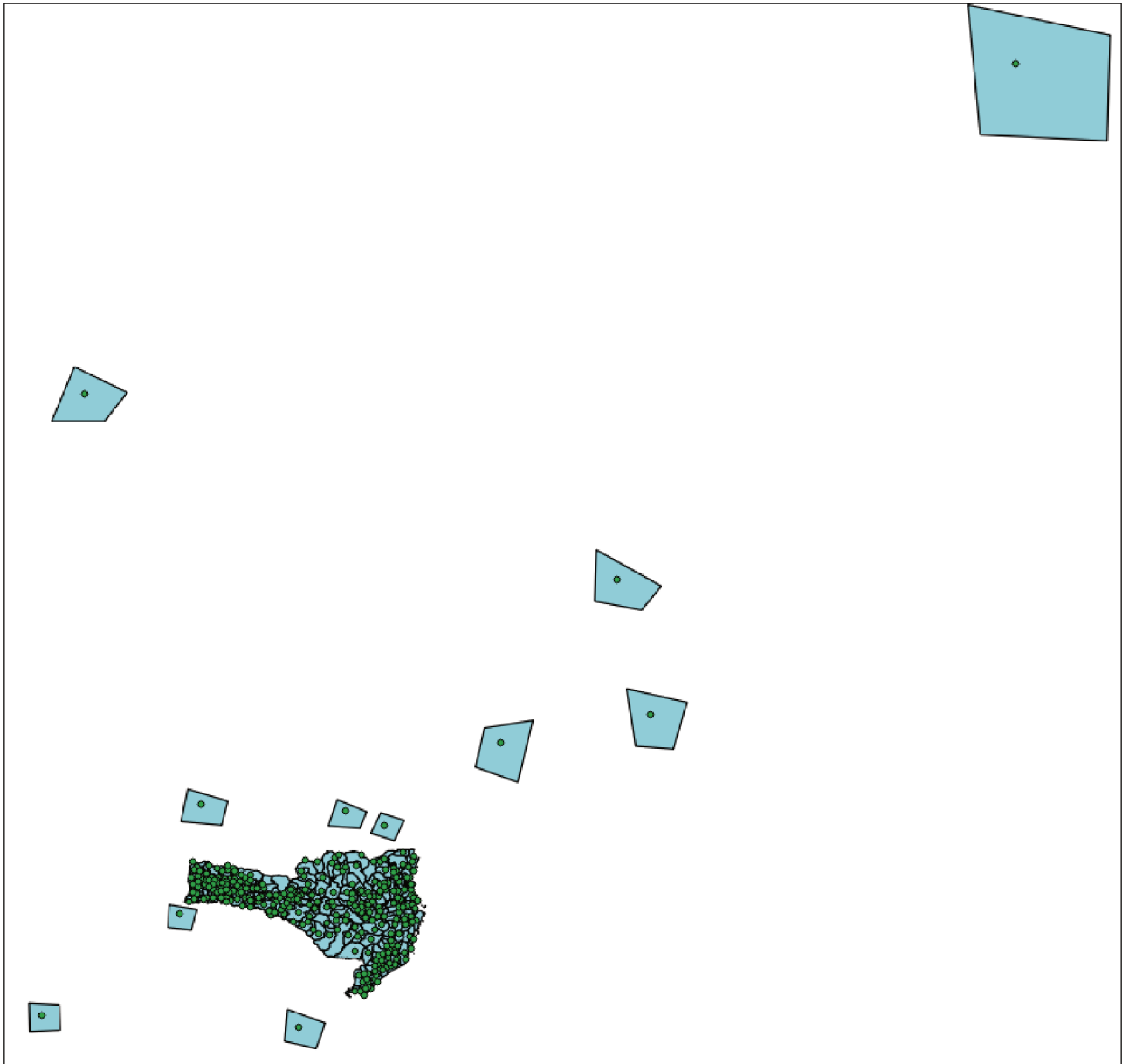
Por conta da quantidade de viagens para fora do estado, as onze outras cidades foram incrementadas na modelagem, utilizando seleção na camada de centroides. Foram criadas onze novas zonas de tráfego a fim de manter todos os destinos e as linhas de desejo. Reformulando uma nova área de estudos.

Para conectar as novas zonas de tráfego à antiga área de estudo foram criados vetores rodoviários respeitando os critérios espaciais de feições retilíneas e de tamanho menor possível (ponto da área de estudo mais próximo). Foi atribuído ao vetor criado a característica `MODAL_ID = 1` e as outras respectivas propriedade.

A área de estudo final é representada na Figura 16.

Foi observado que existem 35 cidades envolvidas na matriz O/D, destas 20 cidades são origem e 21 cidades destino (algumas cidades são origem e destino), configurando uma matriz de formato simétrico (35×35).

Figura 16: Área de estudo final com zonas de tráfego. Fonte: Autoria própria.



Os pares O/D e os respectivos volumes transportados não foram configurados em formato de matriz, mas sim em forma de tabela para posterior integração com o *software* TransCAD.

Na camada de centroides foi criado outra coluna de identificadores em função da matriz origem destino, facilitando a visualização das 35 cidades envolvidas na matriz O/D.

4.3.2 Tratamento dos centroides

As cidades pertencentes à matriz O/D de carne foram identificadas no banco de dados do IBGE (camada de pontos) que contém todas as cidade brasileiras. Da mesma forma como nas feições vetoriais, utilizou-se a função “*Clip*” do software Quantum GIS para filtrar as cidades de Santa Catarina. As outras 11 cidades-destino foram localizadas através de uma coluna na tabela de atributos que continha o nome da cidade. Essas cidades tornaram-se os centroides das zonas de tráfego.

A tabela de atributos disponibilizada, contava com atributos referentes à identificações em âmbito nacional (número de 6 dígitos), nome da cidade com a utilização de caracteres alfanuméricos (alguns softwares podem não reconhecer esses dados). Para uma identificação mais objetiva e descomplicada, criou-se uma nova coluna em forma de número chamada “ID” que procurava enumerar as 295 cidades catarinenses, mais as outras 11 cidades.

4.4 Elaboração do modelo base (cenário atual)

A simulação do modelo de base conta somente com o cenário rodoviário vigente, representado pelos dados de infraestrutura já processados, denominados malha “RODO”.

As ferrovias presentes na área de estudo foram desconsideradas nesse primeiro modelo, visto que não possuem nenhuma atuação sobre o transporte de carne.

Por mais que os dados do CNT revelassem as rodovias em más condições, e o arquivo GIS do PNLT atribuísem condições do leito das rodovias (pavimentada, natural), todas as rodovias foram consideradas pavimentadas. Assim todas estavam aptas a receberem um fluxo de tráfego nas mesmas condições. Também não foram limitadas as características referentes a capacidade pelo desconhecimento desse dado.

4.5 Elaboração de modelos alternativos (cenários possíveis)

Foram escolhidas duas diretrizes de traçados para o sistema ferroviário. A primeira conta com uma estratégia de reforma da rede denominada tronco sul que segue de Lages até Mafra e então até porto de São Francisco do Sul, esse traçado foi nomeado FERRO_1. Já a segunda possui um traçado que atravessa o estado no sentido Leste-Oeste, com o intuito de ligar o oeste catarinense ao litoral, a esse traçado foi dado o nome de FERRO_2.

O traçado Leste-Oeste foi feito de acordo com critério de proximidade entre as zonas de maior produção e portos de maior movimentação. Esse critério quantitativo veio com base nas matriz origem destino utilizada, bem como na Figura 15.

Para esse segundo traçado não foi tomada precauções detalhadas com o projeto geométrico do traçado. Em relação à altimetria do estado, apenas procurou-se evitar grandes diferenças de nível observadas nas plantas altimétricas do estado.

Para realizar esses traçados foi utilizado o Quantum GIS. Após o posicionamento dos vetores, a tabela de atributos foi preenchida igualmente às de vetores rodoviários, com exceção do custo unitário (3,8) e MODAL_ID (2).

Após concepção dos cenários alternativos em GIS, as feições ferroviárias foram vinculadas a rede rodoviária (RODO_CON). A fusão proporcionou uma única tabela de atributos. Essa ação foi necessária devido à facilidade de gerenciamento e visualização dos atributos dentro do software TransCAD.

4.6 Procedimento no TransCAD

Nesse trabalho, as informação de custo logísticos, demanda de tráfego e dados vetoriais de infraestrutura foram reunidas num só programa. Este interpreta os dados de entrada conforme o modelo quatro etapas para simular o fluxo de volume de carga dentro da rede proposta.

O TransCAD é um software que utiliza estruturas espaciais georreferenciadas. Assim ao carregar as camadas vetoriais no software é preciso identificar a projeção de referência. Como todos os arquivos vetoriais já estão no mesmo referencial, foi indicado ao programa a projeção Universal Transversal de Mercator do fuso 22 sul (UTM-22S).

Os arquivos contendo as rodovias já tratadas (RODO) e os centroides foram importados no programa e projetados num mesmo mapa. A falta de conexão entre malha e pontos geradores e de destino (centroides) não permite que o programa exerça sua função, para isso utilizou-se a ferramenta "*Connect*" para conectar os vetores rodoviários (e somente estes) aos centroides. O comando funciona de forma similar ao "*snap*" dos softwares GIS: é definido um raio de atração e todos os pontos dentro desse raio são, não atraídos, mas conectados através da criação de novas feições, uma única por centróide.

Após esse passo obteve-se na camada de rodovias uma série de pequenos novos vetores sem nenhum atributo a não ser o identificador do vetor.

O TransCAD é um programa sensível à falta de informações e às linguagens alfanuméricas utilizada para descrevê-las. Assim, os atributos dos pequenos vetores conectores foram redefinidos. O arquivo retornou ao Quantum GIS e aos vetores conectores foram atribuídos características do mesmo modo dos vetores da malha rodoviária (COMP, CUST_UNI, CUSTO, MODAL_ID, TRA_PENA).

Essa nova camada de vetores rodoviários com conectores foi chamada de “RODO_CON”. Quando se for citado “rede rodoviária” dentro deste capítulo, está se referindo aos arquivos vetoriais “RODO_CON”.

Completado o preenchimento da tabela de atributos em GIS, a rede retornou ao TransCAD. Mais uma vez foi importado a camada de centroides e também a matriz O/D em formato de planilha.

Para o programa conseguir reconhecer os dados de distribuição de viagens, foram importadas as informações da matriz O/D em formato de planilha, pois esse é o formato aceito pelo programa. Nessa etapa é indicado as colunas que contêm as origens, destinos e o volume de carga transportado. O próprio software trata os atributos da planilha e os organiza-os em formato de matriz.

Após esses três arquivos estarem carregados no programa, criou-se de fato o grafo, “*network*”, através da função, “*Create Network*”. Nesse procedimento é escolhido os campos de interesse para o modelo, logo, foram escolhidos os campos da rede: COMP, CUST_UNI, CUSTO, TRA_PENA, MODAL_ID; foi selecionado a matriz mas não foram encontrados os dados referentes aos centroides (ID).

Após a criação da rede, com links e nós, foi efetuado o comando de alocação de viagens. Foi escolhido o método o “tudo ou nada” tendo como fator de impedância ou “caminho mínimo” a coluna CUSTO. Nessa etapa também é definido a penalidade, que pode ser tanto para conversões inapropriadas na malha (caso haja sentido de fluxo no vetor), como também para transferência de vetores em geral (transbordo). O programa relaciona os campos necessário como valor da pena (TRA_PENA), com a ação de transferência fluxo entre diferentes vetores. Para isso, indicou-se a coluna “MODAL_ID” onde vetores rodoviários eram identificados como (1) e ferrovias como (2) configurando por fim os parametros de entrada no programa.

Após processamento dos dados, observou-se uma incompatibilidade com o proposto pela Matriz O/D, pois nenhum fluxo de carga ia até o porto de Itajaí, por exemplo.

Quando se carrega a malha rodoviária, as extremidades, ou seja, os ponto de encontro com outros vetores e seus respectivos pontos finais, tornam-se nós automaticamente, sem ne-

cessariamente ter efetuado a função “*Create network*”. Esses nós são também georreferenciados e identificados aleatoriamente, depois são armazenados em uma tabela de atributos, com campos: ID, longitude e latitude. É criada, portanto, uma nova camada de pontos, que o programa nomeia de “*End Points*”. Por esses nós estarem atrelados aos vetores da malha, a camada “*compete*” com a dos centroides. Essa camada não é projetada no mapa, sendo necessário utilizar comandos para mostrá-la.

Pelo fato das camadas de pontos competirem, a camada “Centroides” não é reconhecida. Quando o modelo é iniciado, percebe-se que o fluxo de cargas se dirige ao nó-destino da camada “*End Points*”, ao invés do centroide.

Para compatibilizar a matriz O/D com a camada centroides pode-se vincular esta à camada “*End Points*”, como também identificar os centroides na camada “*End Points*” e substituir esses novos ID’s na matriz.

Para realizar a segunda opção, comparou-se os valores das longitudes de ambas as camadas, utilizando funções do próprio TransCAD. Esses valores são de precisão de 8 dígitos. Conseguiu-se fazer tal processo com a rede rodoviária (RODO_CON) devido ao tratamento realizado com os vetores conectores. Cada nó no final desses vetores, representava obviamente um centroide.

Após alterar as origens e destinos da matriz conforme os identificadores da camada criada pelo TransCAD “*End Points*”, e processar novamente a malha rodoviária, observou-se, por fim, um fluxo de cargas coerente. A atitude foi mais trabalhosa, porém foi eficaz.

Com isso, o primeiro cenário ficou pronto. O segundo e terceiro cenários contam vetores ferroviários. Logo, o procedimento de troca de identificadores na matriz O/D teve que ser refeito para os novos cenários.

As malhas retornaram ao Quantum GIS, e procurou-se elencar alguns pontos de acesso à ferrovia, pontos de transbordo. Ambas as camadas ferroviárias (FERRO_1) e (FERRO_2) receberam três pontos de acesso.

Para elaborar esses pontos, bastou modelar o vetor ferroviário de tal forma que tivesse somente um nó conectado à rede. Caso a feição ferroviária atravessasse outros vetores rodoviários sem haver a “quebra” nesse ponto, o TransCAD não o representava-o como “*end points*”.

5 Resultados

Este capítulo mostra a alocação das viagens tomando como critério de impedância os custos de transporte (consumo de combustível e taxa de transbordo de contêineres). A consequência dessa alocação numa rede onde há dois tipos de sistemas de transporte (caracterizados quanto o custo), é a própria etapa de escolha do sistema de transporte.

Quando o modelo é processado no software TransCAD, é gerado novas colunas de atributos para malha vetorial. As informações contidas nas colunas revelam a quantificação do fluxo total de carga em cada vetor. Ou seja, cada vetor recebe uma quantidade de fluxo com relação às suas características de custo.

Para melhor visualização, o software disponibiliza ferramentas que correlacionam a grandeza dos valores de fluxo com a espessura da linha que identifica o vetor. Assim, vetores cujos atributos de fluxo são maiores, representam linhas mais espessas. Também, para identificar os sistemas de transporte, as linhas contínuas representam a malha rodoviária, já a linha tracejada mostra a ferrovia. Os círculos representam os centroides das zonas de tráfego (optou-se por não representar estas para conseguir não sobrecarregar o desenho).

São realizadas três diferentes análises no capítulo. Na primeira, a matriz O/D e o grafo foram explorados de forma a elaborar modelos de viagens para todo o Brasil. A segunda análise são desconsiderados vetores fora dos limites de Santa Catarina mas ainda utilizando todos os pares O/D disponibilizados pela matriz. A terceira análise apresenta somente viagens dentro do estado (origem e destino são cidades catarinenses).

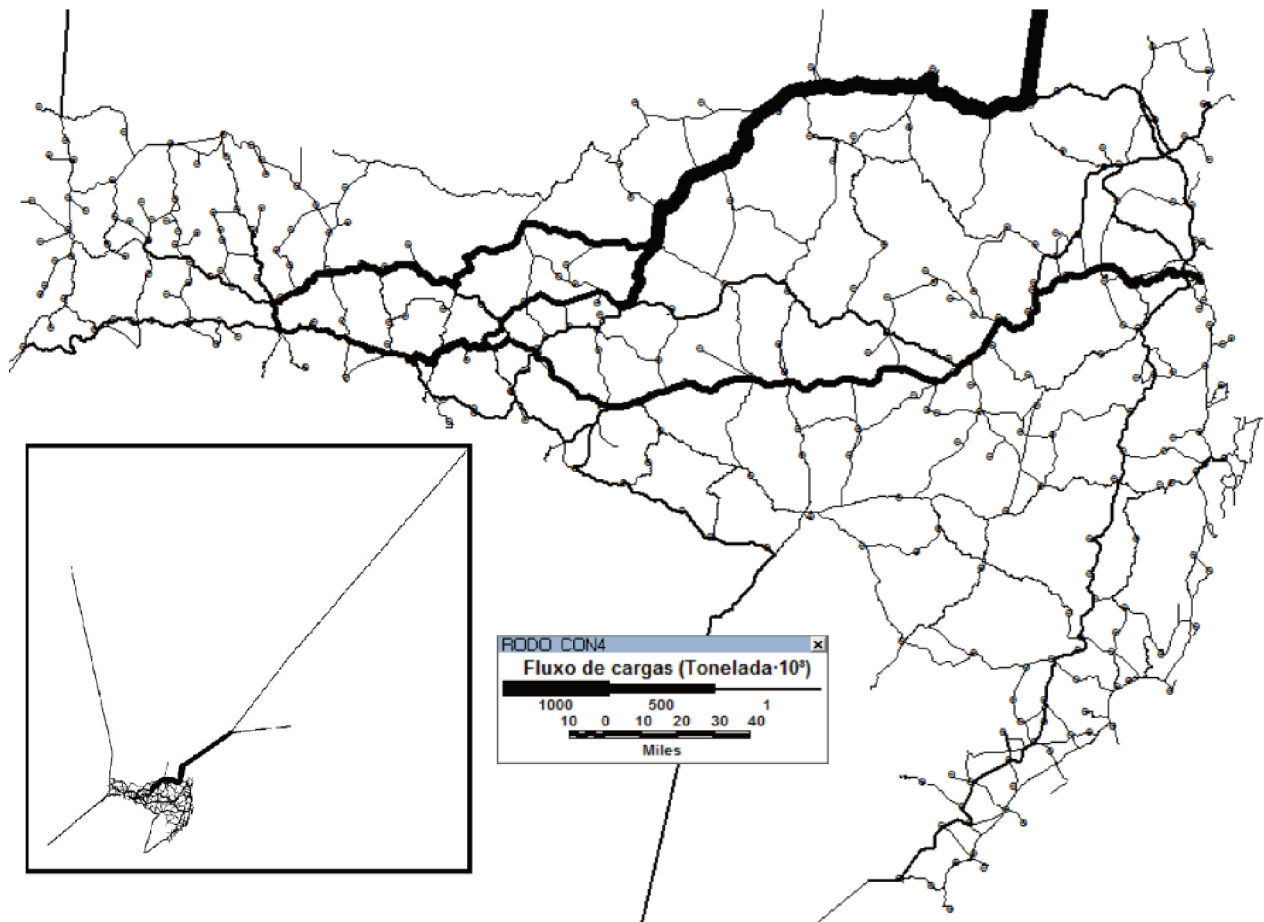
5.1 Análise do impacto da ferrovia para o transporte de carne

5.1.1 Cenário 1

A Figura 17 se refere ao cenário um, onde há somente rodovias, já que utilizou-se somente o arquivo vetorial (RODO_CON). A alocação das viagens para transporte de carne na rede em questão é feito segundo critérios de custo. Para este caso, como há somente um “CUST_UNI”, a impedância da alocação pode ser compreendida também a distância. Assim o programa, neste cenário, utiliza os caminhos mais curtos.

Percebe-se ainda que a linha mais espessa segue para o norte, visto que o volume de carga que chega em São Paulo corresponde a 1060 mil toneladas de carne. Já a carga que chega ao

Figura 17: Fluxo de cargas do cenário 1. Fonte: Autoria própria.



porto de Itajaí é de 380 mil toneladas.

O fluxo de carga que atravessa o vetor mais espesso chega a 945 mil toneladas, uma vez que nessa rota estão contabilizadas o volume que vai a Recife e ao Rio de Janeiro.

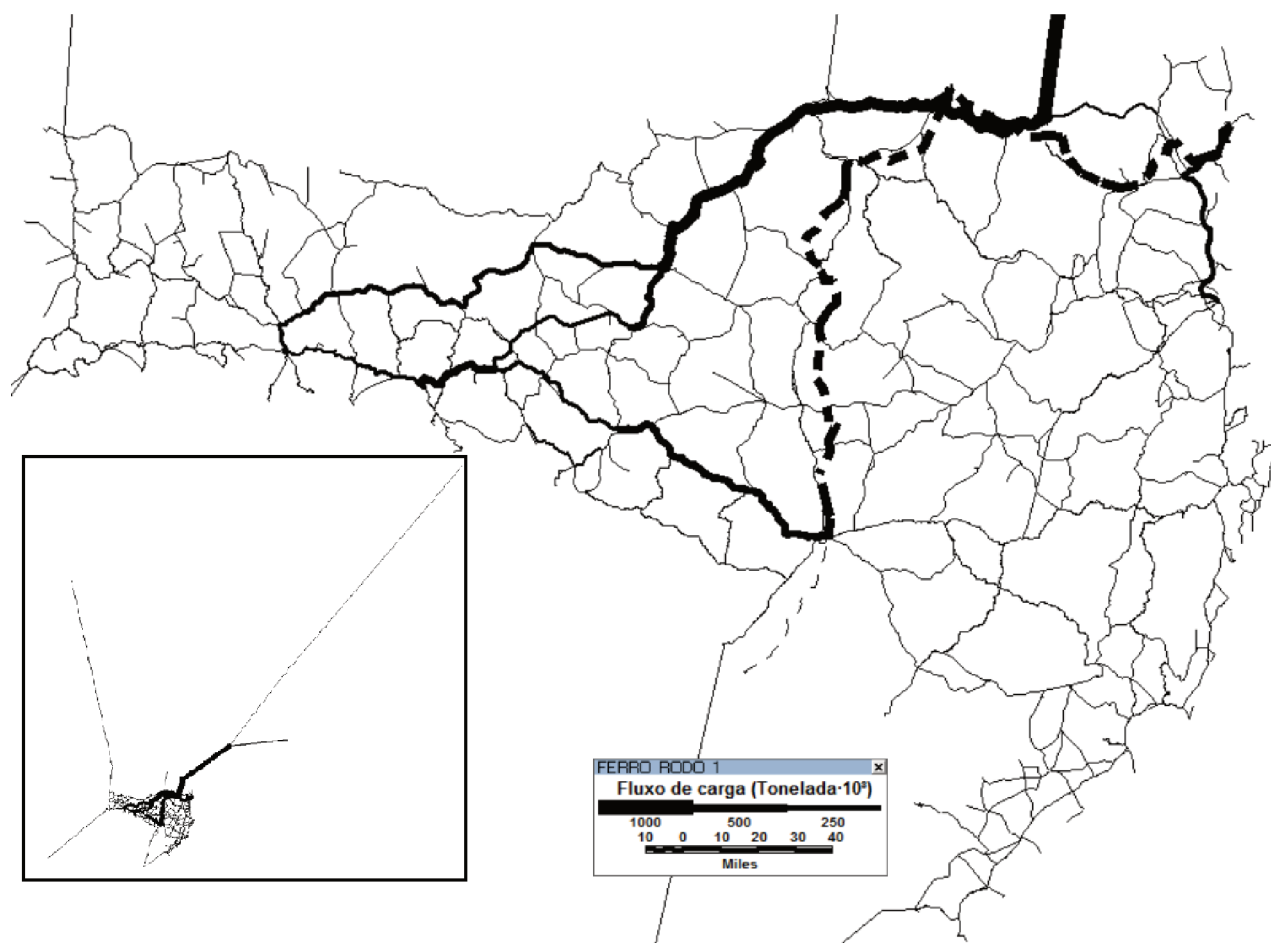
Percebe-se ainda em grande maioria vetores com pouco ou nenhum fluxo de cargas. Esse comportamento já era esperado, pois foi utilizado na etapa de alocação o método “tudo ou nada”, e uma vez que o caminho mínimo é encontrado, todo o fluxo irá percorrê-lo. Caso fosse utilizado o método de alocação por equilíbrio, os vetores seriam mais aproveitados para distribuir o fluxo, porém esse método carece de outras informações de tráfego que não foram obtidas nesse trabalho.

5.1.2 Cenário 2

O cenário 2 conta com o traçado já existente da ferrovia denominada tronco-sul, o traçado não chega efetivamente na região oeste de Santa Catarina, porém é visível a utilização dela

conforme o modelo simulado, visto na Figura 18.

Figura 18: Fluxo de cargas do cenário 2. Fonte: Autoria própria.



O fluxo de cargas que passa pela rodovia chega a aproximadamente 600 mil toneladas.

Existem estudos que levantam a possibilidade do transporte de milho através de trens para a CONAB (localizada em Lages) utilizando essa mesma ferrovia a partir de Mafra que serviria dentre outros fins, para ração na agropecuária.

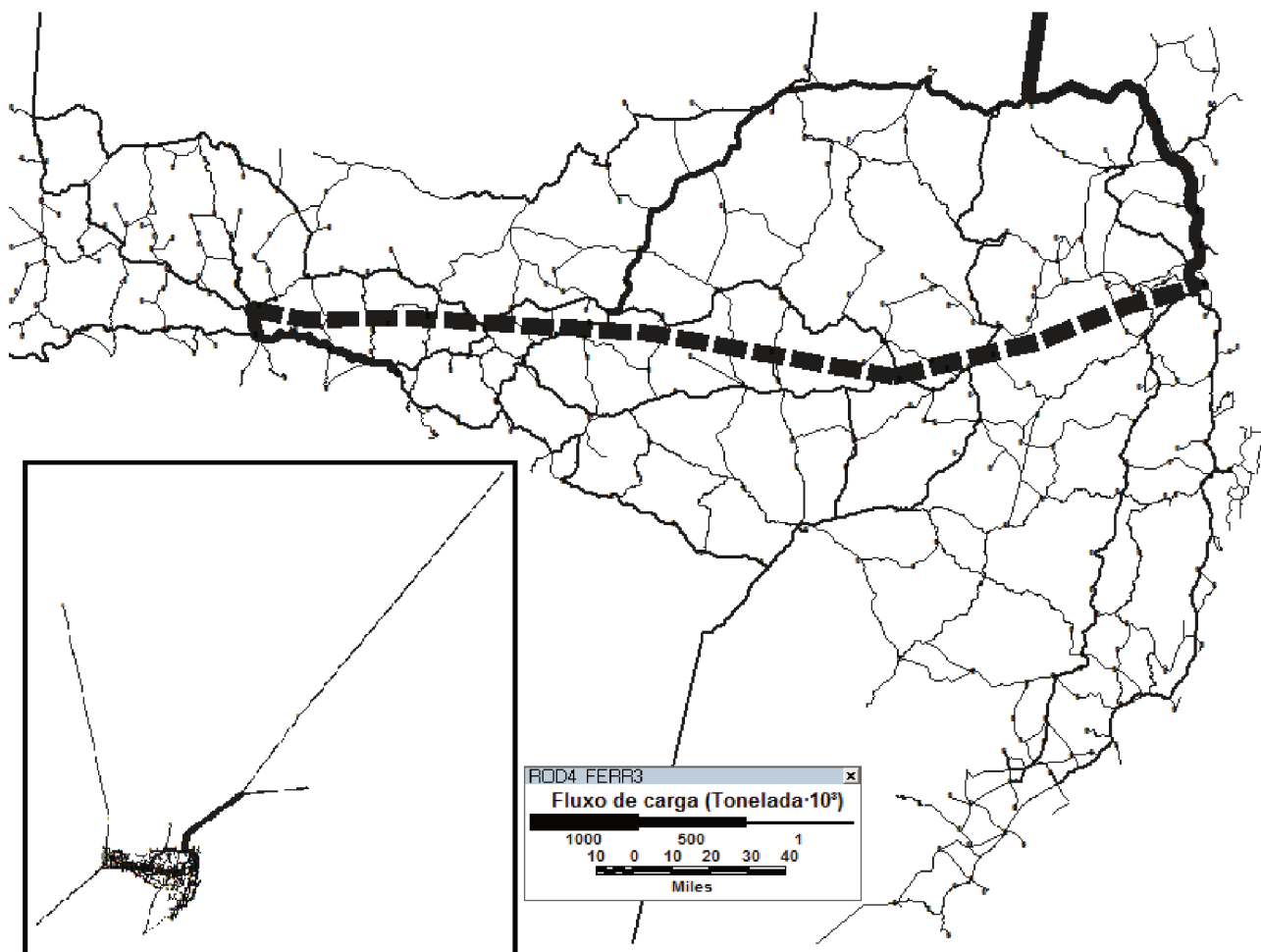
5.1.3 Cenário 3

O cenário 3 conta com a ferrovia sentido Leste-Oeste, que tem o primeiro ponto de transbordo próximo a Chapecó, um outro ponto de acesso próximo a Taió, ao centro do estado, e por fim um ponto próximo a Itajaí.

Primeiramente, observando a Figura 19, percebe-se um grande fluxo na ferrovia, explicado por conta da distância entre a origem e destino e as características de impedância que juntas

evidenciam-na como melhor rota. O fluxo do trecho tracejado é de 1125 mil toneladas, 380 mil toneladas são destinados à Itajaí, os 745 mil remanescentes seguem para São Paulo através de rodovias.

Figura 19: Fluxo de cargas do cenário 3. Fonte: Autoria própria.



Percebe-se ainda, que alguns deslocamentos são de sentido contrário ao seu destino, visando ter acesso à ferrovia.

Este cenário é comparável grosseiramente com a opção discutível da ferrovia do frango. Pois a diretriz de traçado apresentado é similar.

5.1.4 Momento de transporte

Segundo (DNIT, 2003) o momento de transporte é uma medida para avaliar custos relativos ao deslocamento de materiais que vêm de fora dos limites da obra.

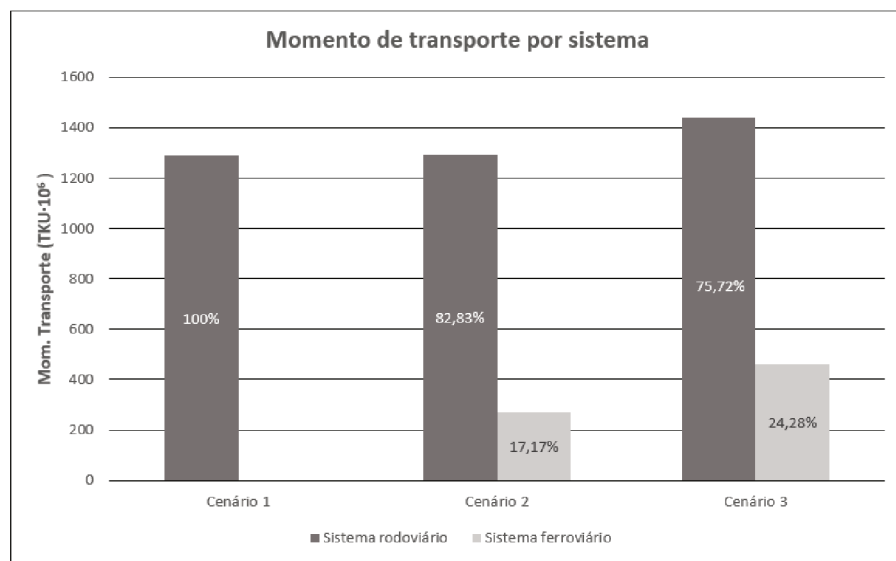
Sendo assim, essa avaliação é feita multiplicando-se o peso da carga transportada pela

distância, tendo como unidade de medida comumente adotada é a Tonelada·Km.

Para comparar a participação de cada sistema de transporte no traslado da carga de carne, é utilizado um método semelhante. Nele é avaliado o fluxo total do vetor multiplicado pelo comprimento.

Assim a Figura 20 mostra a participação de cada modo de transporte através do “momento de transporte”.

Figura 20: Momento de transporte de cargas para todas as vias e pares O/D. Fonte: Autoria própria.



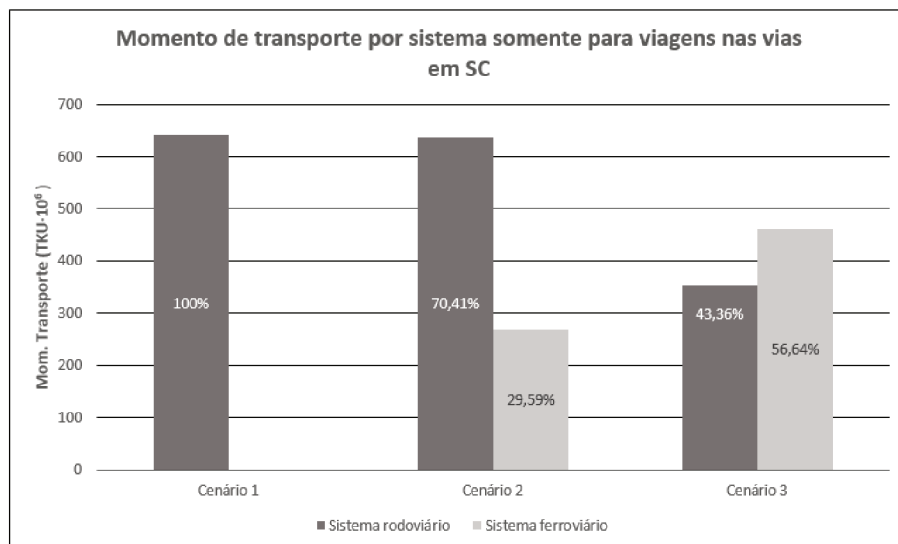
O momento de transporte pode ser interpretado como um parâmetro de eficiência no transporte. Caso os volumes transportados sejam idênticos, quanto menor o momento, menor é a distância a ser percorrida para realizar o transporte.

O comportamento da obtenção, de pequeno momentos de transporte para o sistema ferroviário é explicado:

- as grandes dimensões das feições vetoriais que ligam cidades longínquas como Recife, Cuiabá, Uruguaiana, mesmo não tendo grandes volumes;
- o fato dos vetores rodoviários serem mais detalhados, reflete em um comprimento vetorial maior, o que se torna uma desvantagem, ao menos para o cenário 3, que teve suas feições vetoriais de forma retilínea, elas não contemplam, por exemplo uma estrutura mais sinuosa, o que seria razoável pela carta altimétrica do estado;
- o grande volume de carga que percorre para São Paulo, que tem boa parte de seu percurso feito por vetores rodoviários.

Na Figura 21 é contabilizado o momento de transporte somente para as vias em Santa Catarina. Nessa análise, todos os pares O/D são levados em consideração inclusive os para fora do estado, no entanto o momento é contado até o ponto limite da via, desconsiderando o fluxo e o comprimento de vetores (vias) que não pertencem ao estado.

Figura 21: Momento de transporte de cargas para as vias de Santa Catarina e todos os pares O/D.
Fonte: Autoria própria.



É percebido uma grande participação do sistema rodoviário no cenário 2 (70,41%), no entanto, no cenário 3, o modo ferroviário acaba sendo mais utilizado (56,64%).

A figura revela ainda que o cenário 3 pode não ser o que tem o menor momento total de transporte, mas provavelmente será o mais barato, visto a grande participação do sistema ferroviário.

5.2 Análise do impacto da ferrovia para o transporte de carne em Santa Catarina

Uma vez que a grande parte da produção é destinada a São Paulo, para consumo interno, realizou-se uma análise somente para as viagens dentro de Santa Catarina. Como a maioria das viagens têm como destino o porto de Itajaí, pode-se considerar a análise com caráter voltado a exportação. Assim, a alocação das viagens na via de cada cenário é ilustrado na Figura 22, mostrando a intensidade do fluxo. Para esses cenários foram mantidos os mesmos atributos dos arquivos vetoriais, apenas removeu-se os municípios não pertencentes ao estado dos dados de demanda de tráfego, reconfigurando a matriz O/D.

5.2.1 Cenários 1,2,3

Pode ser observado nos cenários que há uma tendência do fluxo de cargas produzido na região oeste e destinado ao porto de Itajaí, ser alocado no modo ferroviário. Percebe-se que boa parte dos fluxos nas rodovias são voltados não para o porto, mas sim para acesso na ferrovia.

Na Figura 22b, é observado um fluxo que cruza a ferrovia. Esse fato é justificado pelo valor do custo da penalidade (TRA_PENA). Assim, é mais barato não utilizar a ferrovia pois o custo de transbordo se torna mais caro.

Na Figura 22c, é percebido a eficiência da ferrovia uma vez que ela coleta todo o fluxo para si. Os fluxos na rodovia não chegam a percorrer grandes distâncias, tendendo a ser uma melhor opção de traçado do que o cenário 1.

5.2.2 Momento de transporte para o caso de Santa Catarina

É utilizando, mais uma vez, o gráfico de barras para expressar o momento de transporte para a análise de Santa Catarina.

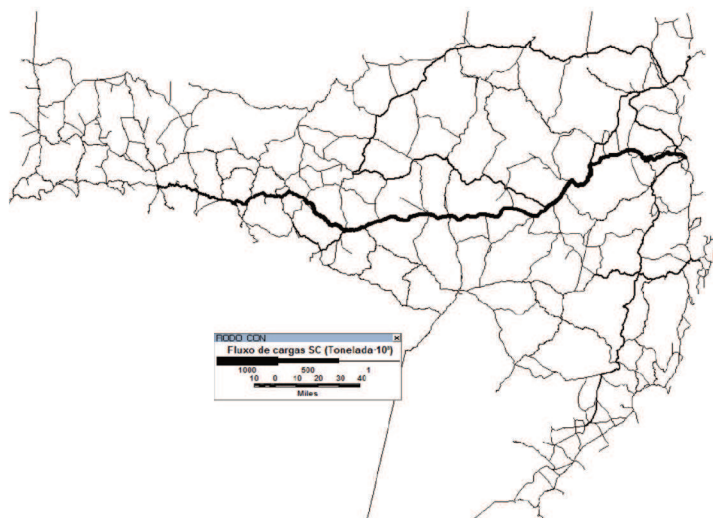
Assim a Figura 23 mostra a participação de cada modo de transporte através do “momento de transporte”.

O gráfico de barras, desta vez, revela um momento de transporte mais igualitário entre os modos de transporte para o cenário 2. O momento de transporte maior para o modo ferroviário é visto no cenário três.

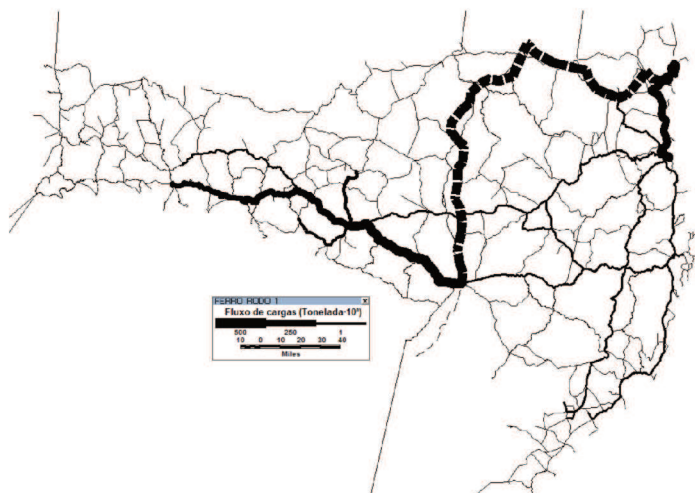
A semelhança no momento de transporte entre os modos, para o cenário dois, pode ser explicado pelo fato do fluxo de carga poder ser considerado o mesmo, uma vez que todas as viagens originadas tendem a acessar o ferrovia, e também as distâncias dos trajetos rodoviário e ferroviários serem semelhantes.

Percebe-se também que o momento de transporte no cenário 3 é ligeiramente menor, isso prova que esse traçado é mais eficiente que os outros uma vez que há menos distâncias a serem percorridas. A grande participação do modo ferroviário torna esse cenário o mais barato também.

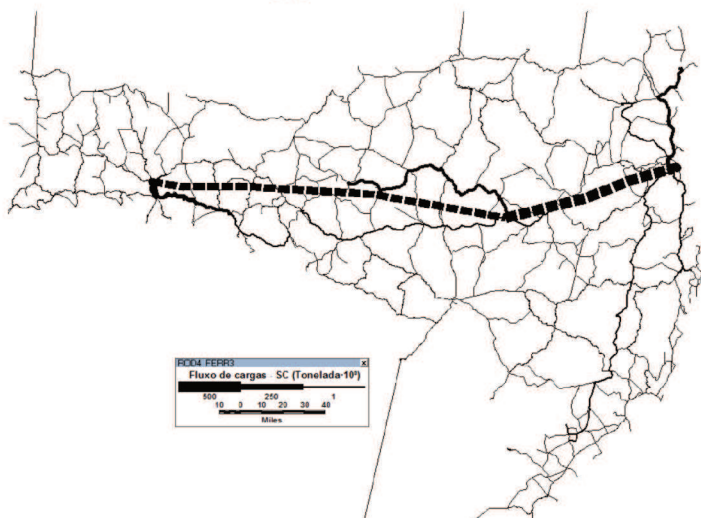
Figura 22: Análise dos cenários com viagens dentro de Santa Catarina. Fonte: Autoria própria.



(a) Cenário 1-SC

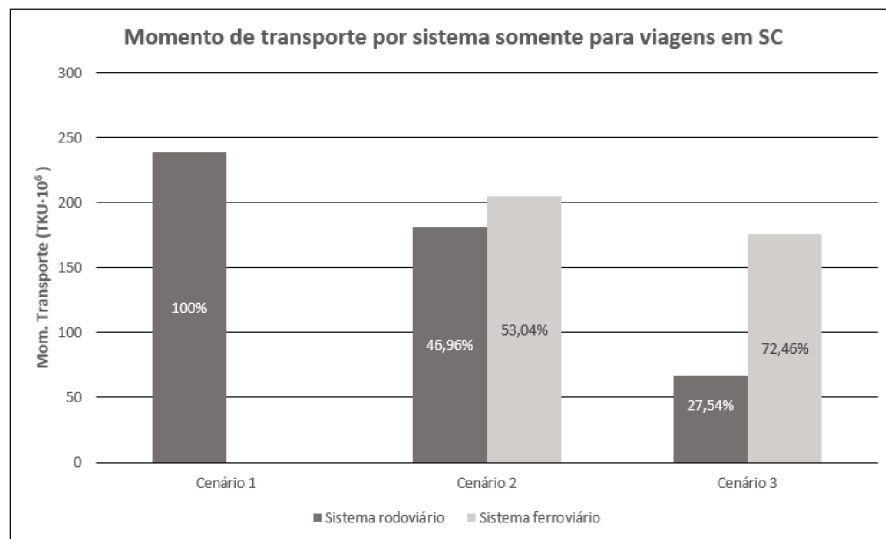


(b) Cenário 2-SC



(c) Cenário 3-SC

Figura 23: Momento de transporte de cargas para as vias e os pares O/D dentro de Santa Catarina.
Fonte: Autoria própria.



6 Conclusões

6.1 Conclusão do trabalho

A engenharia de tráfego é ferramenta indispensável nas tomadas de decisões de forma não equivocada e imediatista, tentando prever e/ou simular o comportamento das viagens na área de estudo.

As duas últimas etapas do modelo macroscópico quatro etapas foram utilizados para interpretar a área de estudo. Sendo que dentro de cada etapa vários métodos tentam representar a realidade e formar um diagnóstico para o futuro.

As etapas de geração e distribuição de viagens foram tidas como realizadas uma vez que foi encontrada a matriz referente a produção de carne de frangos e suínos no ano de 2005 (produto de grande importância no cenário econômico do estado e do Brasil).

O intuito deste trabalho é realizar a implantação de uma ferrovia, e por consequência, a escolha do modal e posteriormente a alocação das viagens. No entanto encontrou-se uma solução em que poder-se-ia avaliar ambas etapas através de comparação de custo de consumo de combustível no transporte de 1000 TKU. De qualquer forma, a realocação dos volumes de carga nos dois modais terrestres irá impactar diretamente no volume de veículos que usufruem da rodovia.

A quantidade de variáveis a serem analisadas torna o procedimento complexo. Assim foi necessário ferramentas de gerenciamento do banco de dados. Para dados georreferenciados, os programas SIG foram fundamentais na pesquisa.

Os dados vetoriais de rodovias do estado, foram obtidos de órgão governamentais e processados a fim de representar a malha viária.

Os custos de operação e manutenção da via bem como o consumo de combustível do modo rodoviário são mais custosos que o ferroviário. Assim, esses valores de certa forma são utilizados como critérios de impedância para encontrar o “caminho mínimo” na etapa de alocação de viagens.

O combustível, apesar de ser um dos mais importantes no transporte e por consequência na cadeia logística, não é suficiente para tomar partido sobre a viabilidade de implantação da ideia apresentada. Custos atrelados à armazenagem do produto, principalmente os refrigerados, e administração logística também dispendem bastantes recursos.

Os resultados exploram o potencial ferroviário, usando-o de forma intensa nos dois cenários apresentados. Os gráfico de barras apresentado ressalva a indiscutível participação do sistema rodoviário no transporte de cargas. Visto que é classificado pelos autores como o transporte mais flexível quanto rotas.

De forma geral, os resultados revelam também, a inexistência de um melhor sistema de transporte mas sim a cooperação de todos, um sistema multimodal, que integre as vantagens de cada modo melhorando o transporte e a logística da entrega.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

- Explorar mais o software TransCAD, em relação ao dados de entrada. Utilizar, por exemplo dados de capacidade de via e volumes médios diários;
- Analisar mais dados para calibrar valores de impedância;
- Utilização de outras matrizes origem destino, ou até mesmo uma reunião de todas elas, para obtenção de dados mais precisos sobre a utilização da ferrovia;
- Pesquisas para melhor localização dos pontos de acesso (portos secos);
- Uso de alternativa de cabotagem integrada aos cenários descritos.

Referências

- ABRAHAMSSON, T. *Estimation of Origin-Destination MATrices Using Traffic Counts- A Literature Survey*. [S.l.], 1998.
- ANTF. *O rumo e os números do setor de transporte ferroviário*. [S.l.], 2011.
- ARIOTTI, P. *Método para aprimorar a estimativa de emissões veiculares em áreas urbanas através de modelagem híbrida em redes*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- BALLOU, R. H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial*. [S.l.]: Bookman, 2006.
- BARCELÓ, J. *Models, Traffic, Simulation, and Traffic Simulation*. [S.l.]: Springer New York, 2010.
- BERNUCCI, L. B. et al. *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenharia*. [S.l.]: abeda, 2006.
- BRASIL. *Projeto de Reavaliação de Estimativas e Metas do PNLT*. [S.l.], 2012.
- CÂMARA, G. et al. *Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas*. [S.l.], 1996.
- CAMPOS, V. B. G. *Planejamento de Transporte: Conceitos e modelos*. [S.l.]: Interciência, 2013.
- CEPA. *Síntese anual da agricultura de santa CATARINA*. [S.l.], 2015.
- CET. *Boletim Técnico 31 - Pesquisa e levantamento de tráfego*. São Paulo, 1982.
- CNT. *Pesquisa Confederação Nacional de Transporte de rodovias 2015: relatório gerencial*. [S.l.], 2015.
- DEINFRA. *Plano Diretor Rodoviário para o Estado de Santa Catarina. Volume II.4 - Estudos sócio-econômicos- Matrizes (ESE)*. [S.l.], 2008.
- DEINFRA. *Plano Diretor Rodoviário para o Estado de Santa Catarina. Volume II.6 - Sistemas Intermodal de Transporte (SIT)*. [S.l.], 2008.
- DNIT. *Manual de custo rodoviários, 3. ed. v.1: Metodologia e conceitos*. [S.l.], 2003.
- DNIT/IPR. *Manual de estudos de tráfego*. Rio de Janeiro, 2006. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Publicação IPR - 723. 384 p.
- ESVELD, C. *Modern Railway Track*. [S.l.]: MRT - Productions, 2001.
- FHWA. *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software*. [S.l.], 2004.
- FIESC. *SANTA CATARINA EM DADOS - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA*. [S.l.]: FIESC, 2014.
- FIESC. *Economia catarinense- Indicadores de desempenho, 2. Indústria catarinense - Indicadores de desempenho. I. Título*. [S.l.], 2015.
- FITZ, P. R. *Geoprocessamento sem complicação*. [S.l.]: Oficina de texto, 2008.

- GRANEMANN, S. R.; GARTNER, I. R. *Modelo multicriterial para escolha de modal/sub-modal de transporte*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Católica de Brasília, 2000.
- HASHIBA, T. *Metodologia para escolha de modal do transporte, do ponto de vista da carga, através da aplicação do método de análise hierárquica*. Dissertação (Mestrado) — Escola Politécnica de São Paulo, 2012.
- LOPES, E. E. *Determinação de diretrizes de traçado geométrico de obras lineares utilizando análise multicritério*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.
- MATOS, F. C. de. *Gerência da manutenção da superfície de rolamento de vias urbanas utilizando SIG*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, setembro 2004.
- MESSER, P. *Impacto do Plano Nacional de Logística e Transporte no consumo energético e nas emissões de gases de efeito estufa do setor de transporte de cargas no Brasil*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.
- MOREIRA, R.; ALCANTARA, F. A.; SOUZA, A. A. de. Influência dos custos operacionais da formação de preço do serviço de transporte ferroviário de cargas. *Escola de engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG*, 2007.
- NETO, C. B. *Manual didático de ferrovias*. [S.l.], 2012.
- NOVAES, A. G.; ALVARENGA, C. *Logística aplicada*. [S.l.]: Pioneira, 1994.
- ORTÚZAR, J. de D.; WILLUMSEN, L. G. *Modelling Transport*. third edition. [S.l.]: Wiley, 2006.
- PAIVA, C. Modelos tradicionais transporte e tráfego. *Companhia de Engenharia de Tráfego São Paulo*, 2010.
- PAIVA, C. E. de. *Efeito da definição do zoneamento e das dimensões relacionadas a este em modelos de alocação de tráfego*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo Escola Politécnica, 1999.
- PEREDA, J. A. O. *Tecnologia de alimentos*. [S.l.]: ARTMED, 2005.
- RODRIGUES, A. de S. Um estudo sobre o futuro corredor ferroviário leste-oeste de Santa Catarina: A ferrovia do frango. *Universidade Federal de Santa Catarina*, 2011.
- RODRIGUES, P. R. A. *Introdução ao sistema de transporte do Brasil*. [S.l.]: Aduaneiras, 2009.
- SEBRAE/SC. *Santa Catarina em números: Santa Catarina / Sebrae/SC*. [S.l.], 2013.
- SHEN, G.; WANG, J. A freight mode choice analysis using a binary logit model and GIS: the case of cereal grains transport in the United States. *Journal of transportation technologies*, 2012.
- SILVEIRA, M. R. *Desenvolvimento econômico e transporte ferroviário: abordagem para o caso catarinense*. [S.l.]: Ourinhos, 2006.
- SILVEIRA, M. R. *Estradas de ferro no Brasil: das primeiras construções às parcerias público-privadas*. [S.l.]: Interciência, 2007.
- TALAMINI, D. D.; MARTINS, F. M.; OLIVEIRA, A. J. Custo da cadeia produtiva do frango: Parceria entre cooperativa e pequenos produtores familiares no estado de Santa Catarina. *Embrapa Suínos e Aves*, 2007.

- TEDESCO, G. M. I. *Metodologia para elaboração diagnóstico de uma sistema de transporte*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília, Janeiro 2008.
- TERUEL, B.; CORTEZ, L. A. B.; FILHO, L. C. N. Contêiner refrigerado: uma alternativa para a conservação pós-colheita de alface tipo americano. *UNICAMP*, 2000.
- VALENTE, A. M. Sistemas de transportes. Apostila de estudos de Sistemas de Transporte. 2013.
- VALENTE, A. M. et al. *Qualidade e produtividade nos transportes*. 2 ed. ed. [S.l.]: Cengage Learning, 2015.
- VALENTE, A. M.; PASSÁGLIA, E.; NOVAES, A. G. N. *Gerenciamento de transporte e frotas*. [S.l.]: Pioneira CNT IDAQ, 1997.
- VARGAS, J. C. Modelagem de transporte : Estado-da-pática, crítica, avanços e desenvolvimentos. *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, 2011.